

Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática en la ETSIA de Sevilla.

Para poder realizar unas prácticas de campo con el mayor rigor científico posible es necesario contar con una red de puntos de coordenadas conocidas, en el sistema de proyección UTM y en relativas. Para el cálculo de la citada red se combinarán diversas técnicas, como el empleo de sistemas GNSS contando con modelos de ondulación del geoide, estaciones totales y nivelación electrónica de precisión en la que se fijarán como tolerancias las exigidas por la REDNAP (Red Española De Nivelación de Alta Precisión).

Contar con esta precisa red permitirá no solo realizar unas prácticas de campo totalmente controladas sino que facilitará la evaluación de los conocimientos adquiridos por los alumnos y facilitará el conocimiento de las particularidades propias del trabajo en combinación con sistemas de proyección con coeficiente de anamorfosis lineal y sistemas relativos.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Grado en Ingeniería Agrícola

TRABAJO FIN DE GRADO

**ESTABLECIMIENTO DE UNA RED DE PUNTOS DE APOYO
PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS EN LAS
ASIGNATURAS DE TOPOGRAFÍA Y GEOMÁTICA DE LA ETSIA
DE SEVILLA**



Alumno: Darío Cuadrado Naranjo

Tutores: Antonio Miguel Pérez Romero

Manuel José León Bonillo

Sevilla, 5 Septiembre 2016

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Grado en Ingeniería Agrícola

TRABAJO FIN DE GRADO



**ESTABLECIMIENTO DE UNA RED DE PUNTOS DE APOYO
PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS EN LAS
ASIGNATURAS DE TOPOGRAFÍA Y GEOMÁTICA DE LA ETSIA
DE SEVILLA**

Alumno

Darío Cuadrado Naranjo

Tutor

Tutor

Antonio Miguel Pérez Romero

Manuel José León Bonillo

Sevilla, 5 Septiembre 2016

INDICE

1	Introducción	1
1.1	Geodesia.....	3
1.2	Historia y necesidad de la Geodesia	4
1.3	La forma de la Tierra	5
1.3.1	Elipsoide de referencia	6
1.3.2	Geoide.....	7
1.3.3	Datum	8
1.3.4	Altitud, tercera coordenada o coordenada Z.....	11
1.4	Sistemas de Referencias.....	12
1.4.1	La Ilustración de la Tierra	12
1.4.2	Sistema de Referencia Local y Global	12
1.4.3	Sistemas Elipsoidales de Referencia	13
1.4.4	El European Datum 1950 (ED50)	14
1.4.5	El World Geodetic System 1984 (WGS84).....	15
1.5	Marcos y Sistemas de Referencia Terrestres	16
1.5.1	El International Terrestrial Reference Frame (ITRF).....	16
1.5.2	Los Sistemas European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89) y REGCAN95	16
1.5.3	La Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales (REGENTE)	17
1.1	18
1.5.4	La Red Andaluza de Posicionamiento (RAP)	19
1.5.5	El Proyecto REDNAP	20
1.5.6	El modelo de Geoide EGM08-REDNAP	22
1.6	Sistema GNSS (<i>Global Navigation Satellite System</i> o Sistema Global de Navegación por Satélite).....	23
1.6.1	Funcionamiento de un sistema GNSS	24
1.6.2	Prestaciones de los actuales GNSS.....	25
1.7	Sistema GPS	26
1.7.1	Composición del sistema GPS.....	26
1.7.2	Fuentes de error en GPS	30
1.8	GLONASS	33
1.8.1	Composición del Sistema GLONASS	34

1.9	GALILEO	36
1.9.1	Plan de implementación de GALILEO	38
1.9.2	Servicios GALILEO	39
1.9.3	Aplicaciones del Sistema GALILEO	40
2	Objetivos del trabajo y área de estudio	41
2.1	Objetivos del trabajo	43
2.2	Área de estudio	44
3	Material y métodos.....	47
3.1	Material	49
3.1.1	Nivel Electrónico	54
3.1.2	Receptor GPS/GNSS	61
3.1.3	Estación Total	71
3.2	Métodos	78
3.2.1	Trabajos previos a la toma de datos.....	78
3.2.2	Nivelación Geométrica u obtención de cotas	79
3.2.3	Levantamiento topográfico con Estación Total.....	90
3.2.4	Trabajo con GPS Tiempo Real (RTK) y Postproceso (PSP)	96
4	Resultados y discusión	101
4.1	Datos Nivel Electrónico Leica Sprinter 250M.....	103
4.2	Datos Estación Total Leica TC 407	105
4.3	Datos GNSS obtenido con equipo Leica 1200	107
4.3.1	Postproceso (PSP)	107
4.3.2	RTK (Tiempo Real).....	109
4.3.3	Comparativa de datos GNSS en Postproceso y Tiempo Real	111
4.4	Comparativa de cotas obtenidas con Nivel Electrónico y Estación Total	113
4.5	Comparativa de datos obtenidos con Nivel Electrónico y GNSS.....	116
4.5.1	Nivel Electrónico y GNSS Postproceso (PSP).....	116
4.5.2	Nivel Electrónico y GNSS en Tiempo Real (RTK)	120
4.6	Comparativa de datos Estación Total y GPS	125
4.6.1	Comparativa de datos Estación Total y GPS en Postproceso (PSP)	126
4.6.2	Comparativa de datos Estación Total y GNSS en Tiempo Real (RTK).	128
5	Conclusiones	131
6	Bibliografía.....	137



Anexos.....	141
Anexo I: Planos.....	143
Anexo II: Reseñas de Puntos de Nivelación.....	145
Anexo III: Glosario de Términos.....	147





INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Modelo terrestre de Cassini y Newton (Hernández López)	5
Ilustración 2. Representación del elipsoide de referencia (Ortiz, 2005)	6
Ilustración 3. Elipsoide de referencia	7
Ilustración 4. Relaciones geométricas entre la superficie de la Tierra, el Geoide y el Elipsoide. (Relevancia del uso del Datum, 2011)	8
Ilustración 5. Componentes del Datum (Fernández Coppel, 2001)	9
Ilustración 6. Representación de altura elipsoidal y ortométrica (Instituto Nacional de Estadística y Geografía)	11
Ilustración 7. Coordenadas geodésicas en el elipsoide (Instituto Geográfico Nacional)	13
Ilustración 8. Definición del WGS84 (Instituto Geográfico Nacional).....	15
Ilustración 9. Vértices de la red REGENTE (Instituto Geográfico Nacional)	18
Ilustración 10. Observación GPS de un punto de la red REGENTE (Instituto Geográfico Nacional)	18
Ilustración 11. Mapa de las estaciones de la RAP. (Red Andaluza de Posicionamiento y Universidad de Cádiz)	19
Ilustración 12. Nueva Red Española de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP). (Instituto Geográfico Nacional)	21
Ilustración 13. Modelo del Geoide EGM08-REDNAP. (Instituto Geográfico Nacional)	22
Ilustración 14. Segmentos de un GPS. (Pérez Romero)	24
Ilustración 15. Códigos del GPS. (Joglar Alcubilla, 2014)	28
Ilustración 16. Estaciones del segmento de control. (Ochoa Oballos & Castillo Parada)	29
Ilustración 17. Retraso ionosférico (Principales fuentes de error GPS, 2012).....	30
Ilustración 18. Efecto multipath. (Principales fuentes de error en GPS, 2012).....	31
Ilustración 19. Dilución de la precisión. (Principales fuentes de error en GPS, 2012) ..	32
Ilustración 20. GDOP (Dilución de la Precisión Geométrica). (Fuentes de error Gps) .	32
Ilustración 21. Esquema de un satélite de la constelación GLONASS. (Noticias de la ciencia de la tecnología, 2011).....	34
Ilustración 22. Segmento espacial GLONASS. (Pasión por volar).....	35
Ilustración 23. Prototipos de satélites GLONASS. (Marín, 2014)	35
Ilustración 24. Datos del sistema GALILEO. (Centro de Información Galileo para América Latina).....	36
Ilustración 25. Componentes principales de la red GALILEO. (Centro de Información Galileo para América Latina).....	38
Ilustración 26. Localización del área de estudio. (Mapa provincial de Sevilla).....	44
Ilustración 27. Área de estudio (Ortofotografía digital de Andalucía).....	45
Ilustración 28. Localización de los puntos (Ortofotografía digital Andalucía).....	46
Ilustración 29. Clavo Geo Punt 50 mm. (Grupo Acre).....	49
Ilustración 30. Martillo. (Bellota).....	49
Ilustración 31. Spray biodegradable	50



Ilustración 32. Leica Sprinter 250M. (Leica Geosystems).....	50
Ilustración 33. Leica TC 705. (Leica Geosystems)	51
Ilustración 34. GPS Leica 1200. (Leica Geosystems)	51
Ilustración 35. Prisma Leica GPR-111. (Leica Geosystems)	52
Ilustración 36. Mira nivelación Leica GTL4C. (Leica Geosystems)	52
Ilustración 37. Mini prisma Leica GMP-111. (Leica Geosystems).....	53
Ilustración 38. Trípode Leica GST-20 (Leica Geosystems).....	53
Ilustración 39. Trípode con pinza. (Leica Geosystems)	53
Ilustración 40. Nivel electrónico Leica Sprinter 250M. (Leica Geosystems)	55
Ilustración 41. Medición con nivel electrónico. (De Máquinas y Herramientas).....	57
Ilustración 42. Tipos de niveles topográficos. (De Máquinas y Herramientas)	59
Ilustración 43. GNSS Leica System 1200 (Leica Geosystems)	62
Ilustración 44. Estación total Leica TC407 con prisma.....	71
Ilustración 45. Componentes de una Estación Total	73
Ilustración 46. Coordenadas polares y cartesianas. (Miler & Šoštarić, 2012).....	75
Ilustración 47. Conceptos en la medición con Estación Total. (Leica Geosystems).....	76
Ilustración 48. Nivel electrónico Leica Sprinter 250M. (Leica Geosystems)	81
Ilustración 49. Modificación de mira topográfica	82
Ilustración 50. Ajuste electrónico del error de colimación. (Leica Geosystems).....	83
Ilustración 51. Nivelación geométrica compuesta. (Farjas)	84
Ilustración 52. Croquis de distribución de los anillos realizados	89
Ilustración 53. Máscara de elevación. (Peñafiel & Zayas, 2001)	96
Ilustración 54. Situación antena receptora Base ETSIA.....	99
Ilustración 55. Antena receptora Base ETSIA.....	100
Ilustración 56. Equipo receptor Base ETSIA	100



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conjunto de Servicios del Sistema GALILEO. (Centro de Información Galileo para América Latina).....	39
Tabla 2. Características técnicas Leica Sprinter 250M. (Leica Geosystems, s.f.)	56
Tabla 3. Características GPS/GNSS Leica 1200 (Leica Geosystems, s.f.)	63
Tabla 4. Precisión de las mediciones GPS/GNSS Leica 1200 (Leica Geosystems, s.f.) 64	
Tabla 5. Tiempos de observación GPS/GNSS (Sánchez Sobrino, 2010).....	65
Tabla 6. Características técnicas Leica TC705. (Leica Geosystems, s.f.).....	72
Tabla 7. Tipos de Estación Total.....	78
Tabla 8. Tolerancia admitida para cada tipo de nivelación (Pérez Romero).....	85
Tabla 9. Datos Nivel Leica Sprinter 250M.....	104
Tabla 10. Datos Estación Total Leica TC407.....	106
Tabla 11. Datos GNSS Leica 1200 en Método Postproceso (PSP).....	108
Tabla 12. Datos GNSS Leica 1200 en Método Tiempo Real (RTK).....	110
Tabla 13. Comparativa datos GNSS-PSP y GNSS-RTK	112
Tabla 14. Comparación Nivel Electrónico y Estación Total	115
Tabla 15. Comparativa datos Nivel Electrónico y GNSS PSP.....	117
Tabla 16. Comparativa datos Nivel Electrónico y GNSS-PSP (teniendo en cuenta modelo de Ondulación del Geoide).....	119
Tabla 17. Comparativa datos Nivel Electrónico y GPS RTK	121
Tabla 18. Comparativa datos Nivel Electrónico y GNSS-RTK (teniendo en cuenta modelo de Ondulación del Geoide).....	123
Tabla 19. Comparativa datos Estación Total con GPS-PSP.....	126
Tabla 20. Comparativa datos Estación Total con GNSS-RTK	128
Tabla 21. Resumen de datos obtenidos	130



1 Introducción



1.1 Geodesia

La geodesia es la ciencia que estudia la forma y dimensiones de la Tierra. Esto incluye la determinación del campo gravitatorio externo de la Tierra y la superficie del fondo oceánico. Dentro de esta definición se incluye también la orientación y posición de la Tierra en el espacio.

Una parte fundamental de la geodesia es la determinación de la posición de puntos sobre la superficie terrestre mediante coordenadas (latitud, longitud, altura). La materialización de estos puntos sobre el terreno constituyen las redes geodésicas, conformadas por una serie de puntos (vértices geodésicos o también señales de nivelación), con coordenadas que configuran la base de la cartografía de un país, por lo que también se dice que es “la infraestructura de las infraestructuras”. (Canas Torres, 2001)

Los fundamentos físicos y matemáticos necesarios para su obtención, sitúan a la geodesia como una ciencia básica para otras disciplinas, como la topografía, fotogrametría, cartografía, ingeniería civil, navegación, sistemas de información geográfica, sin olvidar otros tipos de fines como los militares.

En este estudio, la división de la geodesia que resulta de mayor interés son las siguientes:

- **Geodesia geométrica:** consiste en la determinación de la forma y dimensiones de la Tierra en su aspecto geométrico, lo cual incluye fundamentalmente la determinación de coordenadas de puntos en su superficie.
- **Geodesia física:** estudio del campo gravitatorio de la Tierra y sus variaciones, mareas y su relación con el concepto de altitud.
- **Microgeodesia:** medida de deformaciones en estructuras de obra civil o pequeñas extensiones de terreno mediante técnicas geodésicas de alta precisión.



1.2 Historia y necesidad de la Geodesia

El hombre se ha preocupado por el conocimiento de la Tierra y su forma desde la prehistoria, pero es Pitágoras (582 a.C.) el que toma la Tierra con forma esférica, teoría que es apoyada por filósofos de su época.

Eratóstenes (276 a.C.) fue el primero que midió y calculó la longitud de la circunferencia terrestre. Midió la distancia entre Alejandría y Siena (actual Assuan) con ayuda de una varilla en el suelo, de donde obtuvo que el radio terrestre era de 6366,19 km. Un valor bastante aceptable considerando que en condiciones actuales este radio se da como correcto con un valor de 6371 km.

La introducción de la triangulación marca una nueva era en el siglo XVI. Snell corrigió las fórmulas para adaptarlas a la curvatura de la Tierra. Con los métodos de Snell y las mejoras en los instrumentos, el francés Picard en 1669/70, realiza la primera medición precisa del radio de la Tierra (6275 km).

El periodo desde Eratóstenes a Picard se considera como la “era esférica” y con Newton comienza la “era elipsoidal”. Newton (1666) dedujo de manera teórica que la forma terrestre tenía que contar con un factor de aplanamiento. La teoría de Newton de que la gravedad debía de ser mayor en los polos que en el ecuador era una explicación lógica a esta situación. Esta teoría no fue aceptada de forma inmediata, su más importante oponente fue Cassini para el cual la Tierra debía ser elongada con el eje ecuatorial más corto que el polar (Ilustración 1)



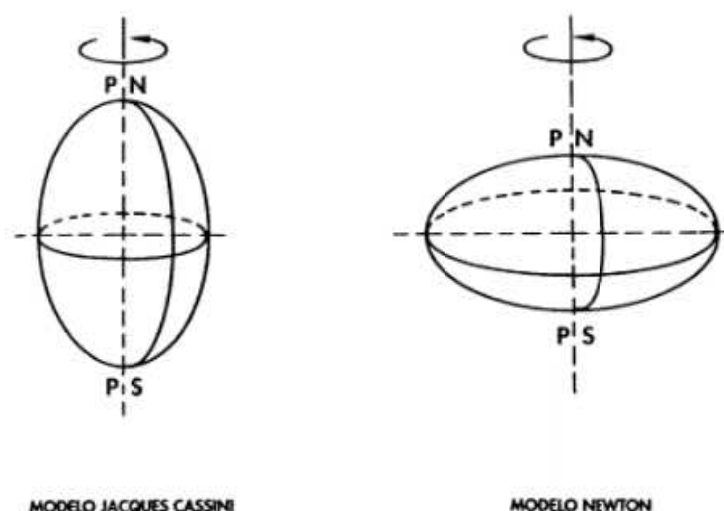


Ilustración 1. Modelo terrestre de Cassini y Newton (Hernández López)

Hacia 1730 se propuso una expedición a Perú y otra más tarde a Finlandia, para medir la longitud del arco de la Tierra. Los resultados probaron la teoría de Newton que había enunciado en su principio fundamental: “la forma de equilibrio de una masa fluida homogénea sometida a leyes de la gravitación universal, y girando alrededor de un eje, es un elipsoide de revolución aplastado por los polos” (Newton, 1687). Con ello sugería una forma elipsoidal para la Tierra, aunque las medidas verificaban que no era un elipsoide perfecto. Estos resultados fueron de 6376,45 km para el semieje mayor del elipsoide y 6355.88 km para el semieje menor. (Sanjosé, 2009)

A partir del siglo XVII han aumentado las investigaciones y se han introducido mejoras en los instrumentos y en los métodos de cálculo, hasta que a finales del siglo XX, con los ordenadores, los satélites y la aparición del GPS, SIG y teledetección, se van conduciendo a resultados más precisos.

1.3 La forma de la Tierra

Hoy en día es indiscutible que la Tierra no es una figura regular y que realizar cálculos matemáticos en ella representa grandes dificultades.



1.3.1 Elipsoide de referencia

La superficie de la Tierra se puede considerar como un elipsoide de revolución, generado al rotar la elipse 360°. En Geodesia recibe el nombre de elipsoide de referencia. Se define por dos parámetros geométricos: semieje mayor y semieje menor (Ilustración 2).



Ilustración 2. Representación del elipsoide de referencia (Ortiz, 2005)

El elipsoide es el modelo matemático que más se asemeja a las irregularidades de la Tierra, por ello se han propuesto diferentes elipsoides de referencia, que generalmente se conocen con el nombre de su creador, que se adaptan razonablemente bien a una parte concreta de la superficie terrestre a cartografiar.

El elipsoide de referencia (Ilustración 3) que tiene asociado España es el GRS80 (*Geodetic Reference System 1980*) cuyos principales parámetros son:



1. Introducción

- **Semieje mayor (a):** 6.378.137 m (obtenido a partir de medidas SLR (*Satellite Laser Ranging*) y radar (*Doppler*)).
- **Semieje menor (b):** 6.356.752,314 m
- **f:** aplanamiento
- $\frac{1}{f} = 1 - \frac{b}{a}$: 298.257222
- La orientación del eje Z será definida por el polo

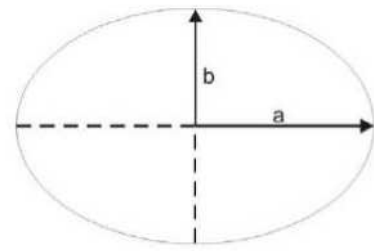


Ilustración 3. Elipsoide de referencia

CIO (*Conventional International Origin*), como eje X el meridiano origen obtenido por la BIH (*Bureau International de l'Heure*) y el eje Y formando una tripleta dextrógira.

1.3.2 Geoide

El perfeccionamiento de los instrumentos de medida y la multitud de medidas realizadas en todo el mundo han ido demostrando la verdadera forma de la Tierra, puesto que siguen existiendo irregularidades que el elipsoide de referencia no aproxima.

Etimológicamente, Geoide significa “Forma de la Tierra”. De hecho sería un elipsoide de revolución si la densidad fuera uniforme, no existieran los diferentes accidentes geográficos, la rotación fuese constante y no influyesen campos gravitatorios exteriores. La superficie del geoide está definida por el nivel medio de los océanos y su prolongación “por debajo” de los continentes.

El Geoide no tiene representación matemática. No es del todo conocido debido al desconocimiento de la fuerza de la gravedad en ciertas áreas como son los océanos.



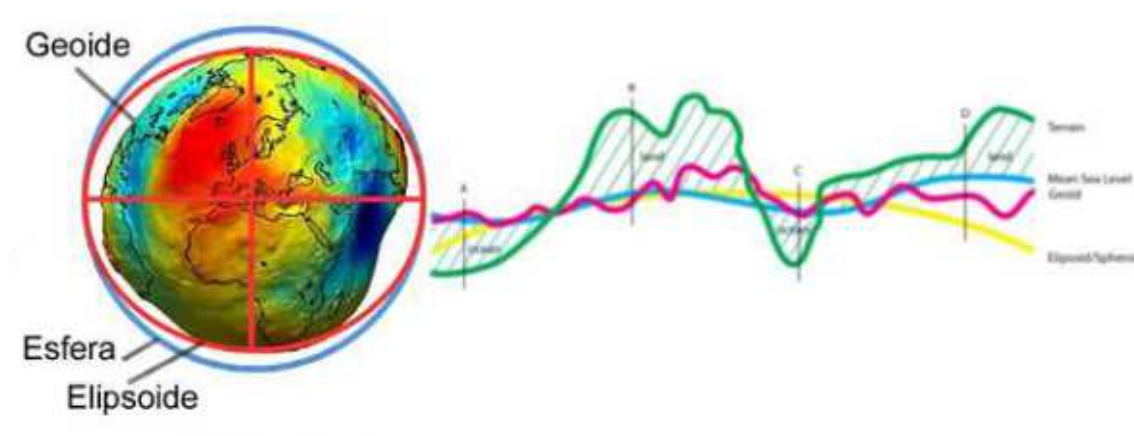


Ilustración 4. Relaciones geométricas entre la superficie de la Tierra, el Geoide y el Elipsoide.

(Relevancia del uso del Datum, 2011)

La desigual distribución de la gravedad superficial y de lo local de las perturbaciones, causa que existan zonas de la Tierra por encima del geoide y por debajo de este. Estas diferencias gravitatorias son causadas por la composición terrestre y la presencia de una gran masa de agua en los océanos, que causa una menor atracción, y hace que, por lo general, el geoide quede por encima del elipsoide en la zona continental y por debajo de la zona oceánica.

1.3.3 Datum

Se puede definir el Datum como el punto donde el Geoide y el Elipsoide de referencia son coincidentes.

Todos sabemos que la Tierra no es esférica, pero, no solo eso, ni siquiera es un cuerpo regular achatado por los polos. Esta irregularidad hace que cada país, o incluso cada región escoja el modelo de cuerpo que más se ajuste a la forma de la Tierra en su territorio. Este cuerpo suele ser un elipsoide.

Los diferentes elipsoides se diferencian unos de otros en sus parámetros, entre los que se encuentran:



- Radio Mayor (a) del elipsoide.
- Radio Menor (b) del elipsoide.
- Aplamamiento del elipsoide ($1/f = 1 - (b/a)$).

Cada Datum está compuesto por (Ilustración 5):

- Un elipsoide.
- Un punto llamado “Fundamental” en el que el elipsoide y la Tierra son tangentes. De este punto se han de especificar longitud, latitud y el acimut de una dirección desde él establecida.

En el punto Fundamental, las verticales de elipsoide y Tierra coinciden. También coinciden las coordenadas astronómicas (las del elipsoide) y las geodésicas (las de la Tierra).

Una vez hayamos definido el Datum y sus componentes, se puede elaborar la cartografía del lugar, ya que tenemos unos parámetros de referencia que relacionan el punto de origen del geoide y del elipsoide con su localización geográfica, así como la dirección del sistema.

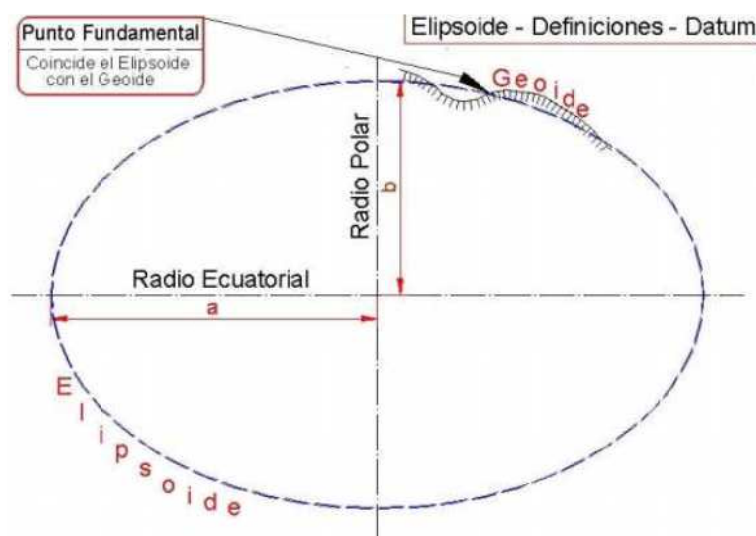


Ilustración 5. Componentes del Datum (Fernández Coppel, 2001)



1.3.3.1 El datum y las coordenadas en España. Los mapas españoles

En España, el Datum utilizado tradicionalmente en cartografía, tanto en los mapas del Servicio Geográfico del Ejército (SGE) como en los del Instituto Geográfico Nacional (IGN), es el *European Datum* 1950. Actualmente, toda la cartografía y bases de datos de información geográfica y cartográfica producida o actualizada por las Administraciones Públicas deberán compilarse y publicarse conforme a lo que se dispone en el RD 1071/2007. Hasta entonces, la información geográfica y cartográfica oficial podrá compilarse y publicarse en cualquiera de los dos sistemas, ED50 o ETRS89, conforme a las necesidades de cada Administración Pública, siempre que las producciones en ED50 contengan la referencia a ETRS89.

1.3.3.2 El Datum y el navegador GPS

El sistema GPS trabaja siempre con el Datum WGS84, si bien los distintos navegadores GPS pueden convertir, en tiempo real, dichas coordenadas a las que se les defina.

Es importante tener bien presente el tipo de coordenadas que se está dando el GPS y el Datum que está utilizando. Sobre todo si se va a llevar las coordenadas a un mapa, o del mapa al GPS. Pues si no procuramos de hacer coincidir el Datum y las coordenadas del GPS con los del mapa, el error que normalmente da el Navegador, se puede incrementar en 200 o 300 m (por el Datum), o incluso no parecerse en nada (por las coordenadas). Y esto sería debido, no a su mal funcionamiento sino a una mala configuración.

La cartografía española, tanto la del IGN como la del SGE (Sociedad Geográfica Española) trabaja con el Sistema de Referencia Terrestre Europeo 1989 (ETRS89) y su cuadrícula principal con coordenadas UTM.

Es interesante leerse la información adicional de los mapas, de ella podremos conocer también el huso (29, 30 y 31 para la Península y Baleares, 27 y 28 para Canarias) y la zona del huso (S y T para la Península y Baleares, R para Canarias) en la que se



encuentra un punto del mapa. Ésta, también es información que se une a la hora de introducir coordenadas UTM a nuestro navegador GPS.

1.3.4 Altitud, tercera coordenada o coordenada Z

La altitud es la coordenada que representa la altura de un punto sobre una superficie. Hay que tener muy claro sobre que superficie de referencia esta medida esta altura.

- **Altitud ortométrica (H):** tiene como superficie de referencia la superficie del geoide, equivalente a la altura sobre el nivel del mar. Se obtiene por técnicas de nivelación topográfica complementadas con observaciones gravimétricas y son las presentes en los mapas topográficos y las utilizadas en el lenguaje coloquial, llamándose cota ortométrica. Ésta fija completamente la posición de todo punto sobre el Geoide (ϕ, λ, h).
- **Altitud elipsoidal (h):** tiene como referencia la superficie del elipsoide. Se obtiene con técnicas de posicionamiento global (GPS), son alturas elipsódicas (sobre el elipsoide de referencia del sistema geodésico WGS84).

Para poder transformar las alturas elipsódicas (h) en alturas ortométricas (H), es necesario conocer la “ondulación del geoide” (N) (diferencia, positiva o negativa, entre la superficie del elipsoide y del geoide).

$$h = H + N$$



Ilustración 6. Representación de altura elipsoidal y ortométrica (Instituto Nacional de Estadística y Geografía)



1.4 Sistemas de Referencias

1.4.1 La Ilustración de la Tierra

La figura “natural” de la Tierra, excluyendo la topografía o forma externa, se asemeja a la definición de geoide, definida como una superficie de nivel equipotencial del campo gravitatorio terrestre.

Esta superficie equipotencial o de nivel materializado por los océanos cuando se prescinde del efecto perturbador de las mareas (casi la superficie del nivel medio de los mares) es la superficie de referencia para la altitud.

Para representar a la Tierra y establecer como los puntos están distribuidos por el terreno, se utilizan los sistemas de referencia. La localización geográfica de un punto se puede realizar detallando uno de estos dos parámetros:

- Coordenadas geográficas en formato longitud-latitud.
- Coordenadas (X, Y) UTM (Universal Transversal Mercator).

Cada uno de estas dos formas debe cumplir los siguientes requisitos:

- Que el punto sea único.
- Que quede perfectamente identificado el sistema de proyección empleado al localizar el punto.
- Que permita referenciar la coordenada Z del punto.

1.4.2 Sistema de Referencia Local y Global

- Sistema de referencia global: es de carácter universal, válido para cualquier punto del planeta.
- Sistema de referencia local: tiene como objetivo el desarrollo de la cartografía de un espacio geográfico o región determinada.

El elipsoide de referencia que mejor se adapte a una superficie concreta del geoide junto con un punto fundamental constituye el concepto de Sistema Geodésico de Referencia.



1.4.3 Sistemas Elipsoidales de Referencia

Como la definición matemática del geoide presenta gran complejidad, así como su definición, la superficie de la Tierra puede representarse con mucha aproximación mediante un elipsoide de revolución, definiéndose este sistema con:

- Superficie de referencia: dimensiones (semiejes a , b).
- Ejes o líneas de referencia en la superficie.
- Sentidos de medida.

Sobre esta superficie se definen las coordenadas geodésicas (Ilustración 7):

- **Latitud geográfica (φ):** Ángulo medido sobre el plano meridiano que contiene al punto entre el plano ecuatorial y la normal al elipsoide en P.
- **Longitud geográfica (λ):** Ángulo medido sobre el plano ecuatorial entre el meridiano origen y el plano meridiano que pasa por P.

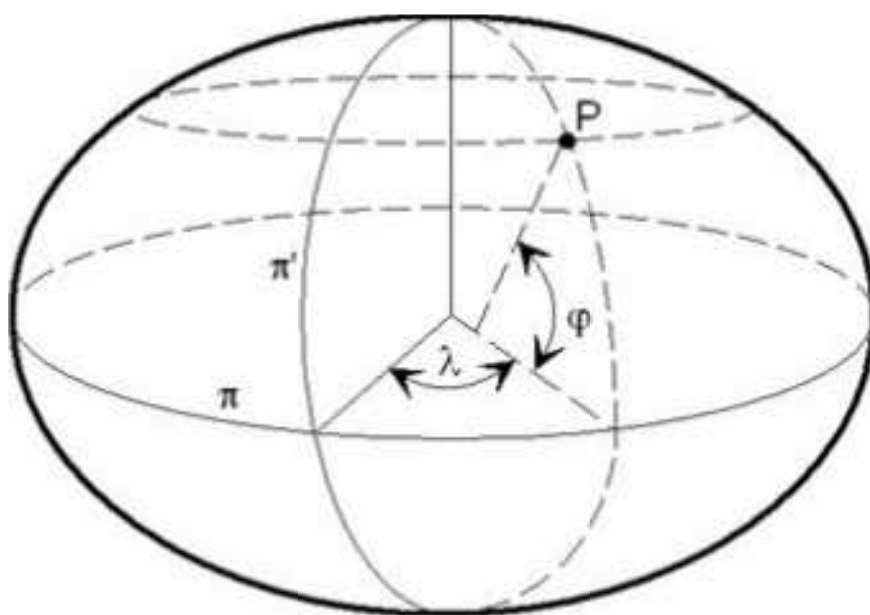


Ilustración 7. Coordenadas geodésicas en el elipsoide (Instituto Geográfico Nacional)



El elipsoide de revolución que mejor se adapte al geoide en la zona con un punto donde ambos coinciden o bien la normal a ambos es la solución adoptada, constituyendo el concepto de Sistema Geodésico de Referencia. A lo largo de la historia diversos elipsoides se han utilizado para definir el Sistema de Referencia de cada país, de tal forma que se define aquel que mejor se ajuste al geoide.

En geodesia existirán dos Datum, el horizontal y el vertical, que es la superficie de referencia respecto a la que se definen las altitudes. En este caso, lo más normal es que sea el geoide.

1.4.4 El European Datum 1950 (ED50)

Hayford propuso en 1924 en la Asamblea Internacional de Geodesia y Geofísica (Madrid) un Elipsoide Internacional de Referencia, con $a = 6378388$ y α (aplanamiento) $= 1/297$.

Este elipsoide fue utilizado ampliamente por la mayoría de países, no siendo perfeccionado hasta 1964. Donde la Unión Astronómica Internacional en Hamburgo estableció unos nuevos valores de $a = 6378160$ y $\alpha = 1/298.25$.

En la orientación de este sistema se estipula:

- El eje menor del elipsoide de referencia es paralelo a la dirección definida por el origen internacional convencional (O.I.C) para el movimiento del polo.
- El meridiano de referencia es paralelo al meridiano cero adoptado por el BIH para las longitudes (Greenwich).

En España se adoptó en 1970 el Sistema ED50 como sistema oficial, sustituyendo al antiguo con elipsoide de Struve y datum Madrid (Observatorio del Retiro), tomando como parámetros del elipsoide de Hayford los definidos en 1924 ($a = 6378388$ y $\alpha = 1/297$).



1.4.5 El World Geodetic System 1984 (WGS84)

Desde 1987, el GPS utiliza el WGS-84, que es un Sistema de referencia terrestre único para referenciar las posiciones y vectores. Se estableció este sistema utilizando observaciones Doppler al sistema de satélites de navegaciones GNSS o Transit, de tal forma que se adaptara lo mejor posible a toda la Tierra.

Se define como un sistema cartesiano geocéntrico (Ilustración 8) del siguiente modo:

- Origen, centro de masas de la Tierra, incluyendo océanos y atmosfera.
- Eje Z paralelo a la dirección del polo C.I.O. o polo medio definido por el B.I.H., época 1984 con una precisión de 0,005".
- El eje X la intersección del meridiano origen, Greenwich, y el plano que pasa por el origen y es perpendicular al eje Z, el meridiano de referencia coincide con el meridiano 0 del B.I.H. en la época 1984 con una precisión de 0,005". Realmente el meridiano origen se define como el IERS Reference Meridian (IRM).
- El eje Y ortogonal a los anteriores, pasando por el origen.

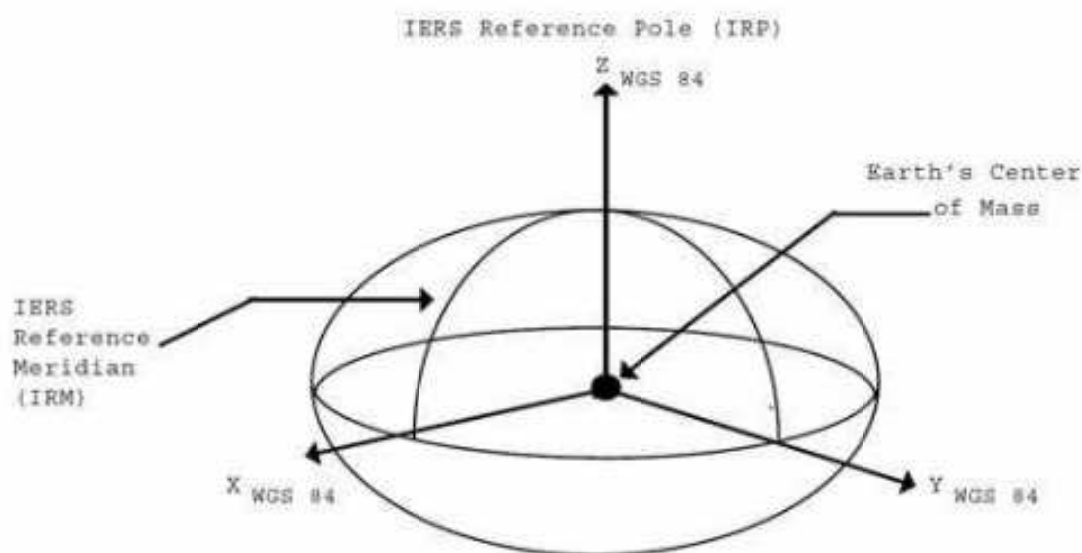


Ilustración 8. Definición del WGS84 (Instituto Geográfico Nacional)



1.5 Marcos y Sistemas de Referencia Terrestres

1.5.1 El International Terrestrial Reference Frame (ITRF)

Para conseguir una realización práctica de un marco geodésico global de referencia se tienen que establecer una serie de puntos con un conjunto de coordenadas.

Un conjunto de puntos consistentes infieren:

- La localización de un origen.
- La orientación del sistema de ejes cartesianos ortogonales.
- Una escala

En términos modernos, un conjunto de estaciones con coordenadas bien determinadas constituyen o representan una realización de un Marco de Referencia Terrestre (*TRF*, *Terrestrial Reference Frame*).

Como consecuencia de estos efectos temporales se definen los sistemas y marcos de referencia terrestres, el *International Terrestrial Reference Frame (ITRF)*.

Hasta ahora existen 11 realizaciones del ITRF publicadas por el IERS: ITRF88, 89, 90, 91, 92, 94, 96, 97, combinada 96+97, ITRF2000 e ITRF2005. Los ITRF \nrightarrow consisten por tanto en una lista de estaciones con sus coordenadas en una época de referencia y velocidades anuales.

1.5.2 Los Sistemas European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89) y REGCAN95

La Subcomisión de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) para el marco de referencia Europeo, recomendó que el Sistema de Referencia Terrestre para Europa que debía ser adoptado, sería el denominado *European Terrestrial Reference System 1989* (ETRS89), el cual está definido en origen por la campaña IBERIA95 y BALEAR98 las cuales se calcularon a partir del ITRF96 época 1995 y época 1998 respectivamente.

El Real Decreto 1071/2007 establece ETRS89 como sistema de referencia geodésico oficial en España para la referenciación geográfica y cartográfica en el ámbito de la Península Ibérica y las Islas Baleares.



En el caso de las Islas Canarias, se adopta el sistema REGCAN95, ya que ETRS89 solo afecta a la parte estable de la placa euroasiática. La definición de REGCAN95 se hizo a partir de la estación ITRF de Maspalomas, con las coordenadas publicadas en el ITRF93 y trasladadas a la época de observación de REGENTE en Canarias, 1994.

Ambos sistemas tienen asociado el elipsoide GRS80 y están materializados por el marco que define la Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales, REGENTE y sus densificaciones.

1.5.3 La Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales (REGENTE)

En 1994, la decisión de implementar en España el ETRS89, llevó a plantear la necesidad de su materialización física mediante un marco de vértices geodésicos, con la densidad suficiente y precisión garantizada mejor que 5 cm.

La densidad media quedó fijada en una estación por Hoja del Mapa Topográfico Nacional (MTN) escala 1:50000, lo cual equivale a una densidad de una estación por cada 300 km², de tal forma que los futuros usuarios podrían disponer de un vértice geodésico en un entorno inferior a los 20 km. REGENTE está constituida por 1029 vértices en la Península y Baleares y 72 en Canarias (Ilustración 9).

Los 27 vértices peninsulares de IBERIA95 y los 6 vértices de BALEAR98 forman parte de REGENTE. Y Canarias, se apoya, como estación de referencia, en la estación VLBI/GPS de Maspalomas, incluida en el ITRF.



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla



Ilustración 9. Vértices de la red REGENTE (Instituto Geográfico Nacional)

La observación de la red comenzó en 1994 y finalizó en 2001, utilizando en todas las campañas los mismos receptores, antenas y basadas de estacionamiento, con la finalidad de que todas las fases de observación fueran homogéneas en cuanto a material y evitar problemas de alturas en antena, diferentes calibraciones de antena, etc. (Ilustración 10).



Ilustración 10. Observación GPS de un punto de la red REGENTE (Instituto Geográfico Nacional)



1.5.4 La Red Andaluza de Posicionamiento (RAP)

La Red Andaluza de Posicionamiento (RAP) es una red GPS que la Junta de Andalucía ofrece para obtener un posicionamiento preciso en todo el territorio andaluz a través de servicios gratuitos de correcciones diferenciales y archivos RINEX. Es un proyecto gestionado por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía junto con el Laboratorio de Astronomía, Geodesia y Cartografía de la Universidad de Cádiz y con ella se puede disponer de un marco geodésico de referencia único y estable para toda Andalucía.

La RAP tiene como objetivo principal solucionar el problema del posicionamiento en Andalucía suministrando datos procedentes de observaciones de satélites del sistema GPS bien mediante técnicas de postproceso o bien en tiempo real mediante técnicas diferenciales.

La red RAP está constituida por 22 estaciones permanentes de seguimiento de satélites GPS homogéneamente distribuidas en el territorio andaluz (Ilustración 11). Se ha diseñado y desarrollado para conformar el marco de referencia geodésico de Andalucía, proveer datos GPS para cálculo en postproceso de coordenadas geodésicas referidas al sistema ETRS89 y suministrar correcciones diferenciales RTK y DGPS vía internet para posicionamiento absoluto en tiempo real.



Ilustración 11. Mapa de las estaciones de la RAP. (Red Andaluza de Posicionamiento y Universidad de Cádiz)



Dependiendo de la metodología utilizada se obtendrán diferentes precisiones en los resultados, como ya se comprobará en el apartado de resultados y conclusiones.

Las estaciones de la RAP están dotadas de receptores GPS que dependiendo de ciertos condicionantes, poseen unos complementos u otros. Mientras que todas las estaciones están dotadas de receptores LEICA GRX1200 Pro, únicamente las estaciones ubicadas en las capitales de provincia y Algeciras, y poseen estación meteorológica Paroscientific MET3. Si se exceptúa la situada en Almería y se incluye la ubicación de Calar Alto estas mismas estaciones disponen de antenas tipo *choke-ring*. Todas ellas están conectadas permanentemente al Centro de Control y sus datos son puestos a disposición de todos los usuarios en Internet.

La RAP está referida al marco ITRF y constituye el marco de referencia geodésico ETRS89 en Andalucía para aplicaciones científicas y tecnológicas, tales como el control geodinámico de Andalucía, determinaciones precisas del geoide, obtención de modelos troposféricos e ionosféricos, estudios climatológicos, determinaciones de puntos de apoyo para vuelos fotogramétricos, georreferenciación de imágenes satélite, establecimiento de puntos de control para redes de referencia en grandes obras civiles, aplicaciones topográficas, apoyo a actualizaciones catastrales, gestión de ámbitos agrícolas, aplicaciones SIG, navegación terrestre, marítima y aérea.

1.5.5 El Proyecto REDNAP

La Red de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP) fue comenzada en 1999 y finalizada en 2007 en la Península y un año después en Baleares. REDNAP peninsular tiene una longitud aproximadamente de 16500 km. En Baleares la red cubre una longitud de algo más de 600 km. Todas las líneas discurren a lo largo de carreteras, autopistas y autovías, con señales espaciadas aproximadamente 1 km.

La red peninsular ha sido compensada en bloque en 2008, obteniéndose el ajuste REDNAP-2008, referenciado al “Datum” común a las dos redes antiguas (1871-1922 y 1928-1972). En las islas, el “Datum” es local y está relacionado con el nivel medio del mar en cada una de ellas.



1. Introducción

A partir de 2008, con el objetivo de reducir los polígonos de REDNAP a una longitud máxima de 400 km y mejorar la precisión de la carta del geoide en aquellas zonas con poca densidad de líneas de nivelación, se procedió a establecer líneas complementarias hasta un total de 3200 km, lo que extenderá la red peninsular hasta los 20000 km (Ilustración 12).

Para la compensación en cotas geopotenciales se adoptó un único punto fundamental: el nodo de Alicante (NP1). Se han obtenido las altitudes ortométricas en función de los resultados geopotenciales.

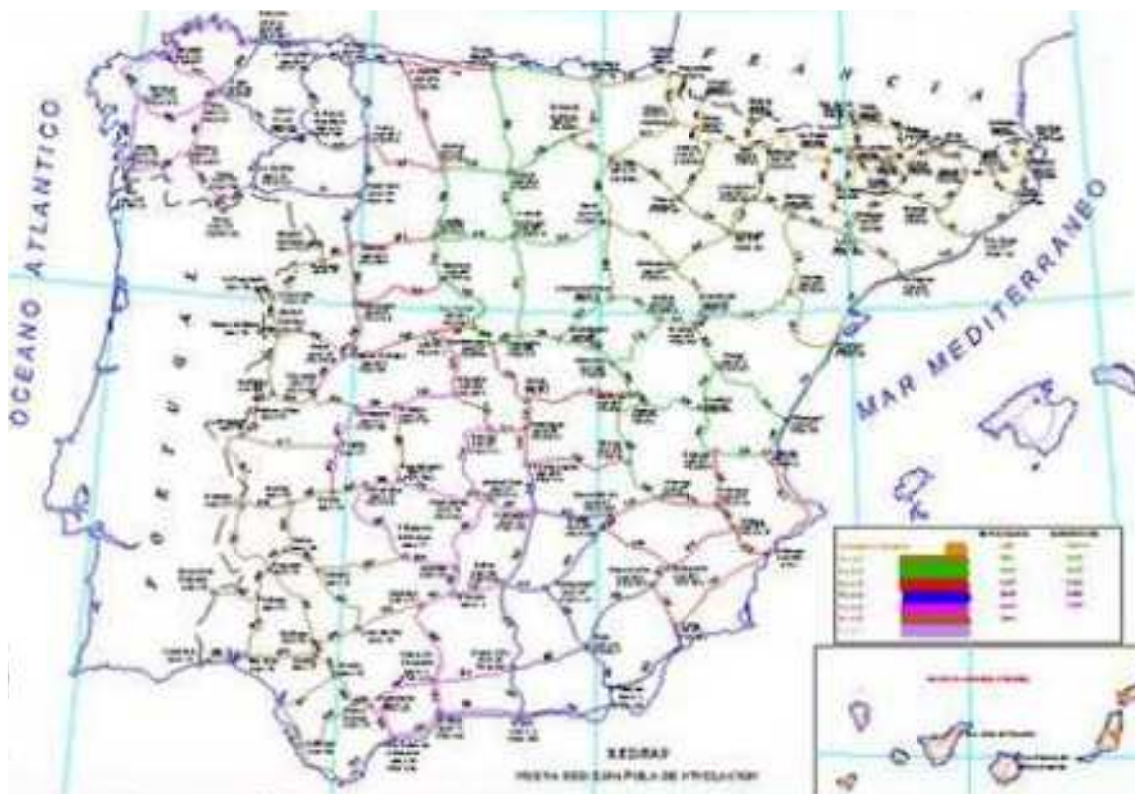


Ilustración 12. Nueva Red Española de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP). (Instituto Geográfico Nacional, s.f.)



1.5.6 El modelo de Geoide EGM08-REDNAP

El Centro de Observaciones Geodésicas ha publicado a finales de 2009 el modelo de geoide EGM08-REDNAP (Ilustración 13), adaptando el modelo gravimétrico mundial *Earth Gravitational Model 2008* (EGM08) al marco de referencia vertical dado por la Red Española de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP).

Las diferencias entre los valores observados y los calculados por el modelo generaron una superficie de corrección y adaptación a REDNAP del modelo original EGM2008 gravimétrico.

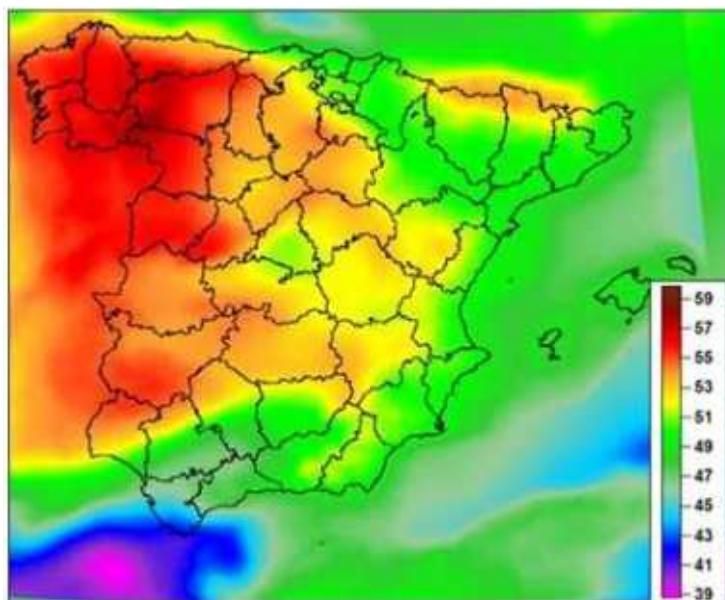


Ilustración 13. Modelo del Geoide EGM08-REDNAP. (Instituto Geográfico Nacional)



1.6 Sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System* o Sistema Global de Navegación por Satélite)

Un sistema global de navegación por satélite o GNSS es una constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire. Estos permiten determinar las coordenadas de un punto dado como resultado de la recepción de señales provenientes de constelaciones de satélites artificiales de la Tierra para fines de navegación, transporte, geodésicos, hidrográficos, agrícolas y otras actividades afines.

Los equipos de medición actuales son capaces de trabajar con las dos constelaciones operativas a día de hoy (NAVSTAR y GLONASS) y están preparados para utilizar la constelación GALILEO en el momento en que esté operativa.

Esto aporta una cobertura mayor de satélites, permitiendo lograr mayores precisiones con menos tiempo de observación. También permite filtrar con más eficiencia los errores *MULTIPATH* (multitrayecto), que más adelante se define, permitiendo medir en lugares imposibles para equipos “mono-constelación”.

Bajo el acrónimo GNSS se engloban todas las técnicas de posicionamiento mediante satélite. Dependiendo de la constelación de satélites hay varios Sistemas GNSS, entre los que destacan:

- **El Sistema GPS** (*Global Position System*): EEUU, 29 satélites, 20000 km, órbitas cuasi circulares. Plena operatividad desde 1995. El uso no militar está tolerado.
- **El Sistema GLONASS** (*Global Navigation Satellite System*): Rusia, 31 satélites, de los cuales, 24 son los que conforman la constelación “activa”, 25000 km y órbitas elípticas.
- **El Sistema Galileo** (ESA): Europa, 30 satélites, 23600 km. De origen y centro civil, con garantías de servicio, precisión e integridad (en fase de implantación).

Disponer de una red de estaciones GNSS de referencia se ha convertido en un pilar básico para el desarrollo de muchas aplicaciones, por lo que en la actualidad hay



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

numerosos organismos con estaciones permanentes GNSS a nivel mundial (IGS), europeo (EUREF), Nacional (IGN) y regional (RAP).

En Andalucía está la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP), una red de estaciones permanentes GPS con la que se puede obtener un posicionamiento preciso y un marco geodésico de referencia único para todo el territorio andaluz.

1.6.1 Funcionamiento de un sistema GNSS

Vamos a ver el proceso que se da desde que se envía la información hasta que se recibe, y como se aprovecha dicha información para calcular el posicionamiento. Involucra distintos segmentos (Ilustración 14), de tal manera que se relacionan entre sí:



Ilustración 14. Segmentos de un GPS. (Pérez Romero)

- **Segmento espacial:** compuesto por los satélites que forman el sistema, tanto de navegación como de comunicación, así como las diferentes señales que reciben cada uno de los receptores.
 - **24 satélites:** 4 satélites en 6 orbitas, en planos inclinados 55° respecto al Ecuador girando a 20200 km sobre la Tierra. Estos satélites tienen orbitas de 12 horas.



- **Segmento de control:** formado por el conjunto de estaciones en tierra que recogen los datos de los satélites y monitoriza el sistema GPS enviando correcciones a los satélites si es preciso.
 - **Estación Principal** (Colorado Spring): responsable de obtener información de las estaciones de verificación, calcular la posición de los satélites, así como controlar los parámetros de los relojes.
 - **4 estaciones de Verificación:** responsable de medir los datos que permiten obtener la Pseudodistancia. Está constantemente rastreando la red de satélites, determinando las efemérides y controlando las señales de los relojes. Conectan las distintas estaciones y cargan la nueva información en los satélites.
- **Segmento de usuario:** formado por todos los receptores GPS que reciben las señales del segmento espacial y sus programas de procesado de datos calculando su posición.

El hecho de que Estados Unidos tuviera el monopolio del segmento espacial, hace al resto de países del mundo dependientes de su sistema.

Mientras en una primera fase los países se centran en el desarrollo de sistemas de navegación aumentada (SBAS, GBAS). Debido a la importancia que cobra esta tecnología, se produce una segunda fase, liderada por Europa en la que se opta por desarrollar un segmento espacial propio que acabe con la dependencia del sistema estadounidense.

1.6.2 Prestaciones de los actuales GNSS

- **Cobertura:** mundial, es decir, una constelación de satélites que garantice el funcionamiento del sistema en cualquier parte del planeta.
- **Disponibilidad:** debe garantizar su normal funcionamiento durante un porcentaje muy elevado de tiempo, en torno al 95% o 99%.
- **Precisión:** proporcionar un posicionamiento espacial y temporal preciso. Hablamos de metros en aplicaciones civiles y de centímetros para aplicaciones militares del GPS.
- Los satélites deben transmitir información fiable y no errónea.



- **Continuidad de servicio:** concepto que se refiere sobre todo al servicio prestado por el GPS, ya que el Gobierno Norteamericano podrá apagar la señal civil que generan sus satélites, terminando o interrumpiendo así su servicio.

1.7 Sistema GPS

El NAVSTAR GPS (*Navigation Satellite Timing And Ranking Global Positioning System*) es el único Sistema de Posicionamiento Global completamente operativo. Surge como una necesidad militar desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DOD). El primer satélite fue lanzado en 1978.

El GPS es un sistema pasivo, es decir, el usuario no tiene que emitir señal de ningún tipo para que no delate su posición. Las precisiones de navegación se obtienen solamente utilizando un receptor.

1.7.1 Composición del sistema GPS

El GPS, por ser el primer sistema, ha definido la arquitectura básica del resto de GNSS.

- **Segmento espacial:** conjunto de satélites, que han sido lanzados en sucesivas generaciones.
- **Segmento de control:** formado por una estación maestra y un conjunto de estaciones de monitorización que proporcionan información a esta y de antenas de tierra que forman un enlace bidireccional con los satélites.
- **Segmento de usuario:** conjunto de receptores GPS que hacen usos del sistema.

1.7.1.1 Segmento Espacial

El segmento espacial del GPS funciona mediante una red de 29 satélites, situados en órbita sobre nuestro planeta a unos 20.200 km de media, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra, mediante seis planos orbitales con una



inclinación de 55° y cuatro satélites activos por plano, dividiendo a la Tierra en función de la latitud y longitud se obtiene la red sobre la que posicionar los distintos satélites.

Debido a la configuración de la constelación de satélites, cualquier receptor situado en la superficie terrestre es capaz de observar de forma directa entre cuatro y ocho satélites en todo momento, con un ángulo superior a 15° sobre el horizonte durante las 24 horas del día.

Los satélites que están orbitando pertenecen a tres diferentes bloques: bloque I, bloque II y bloque IIR.

Cada satélite transmite señales en varias frecuencias:

- **Códigos (señales de navegación)** (Ilustración 15): son modulados sobre la frecuencia portadora en forma de frecuencias, PRN (Ruido Pseudo Aleatorio).
 - La **señal L1** contiene dos códigos:
 - Código de alta precisión, P: no es accesible a los civiles.
 - Código menos preciso C/A (Course/Acquisition).
 - La **señal L2** contiene:
 - Código P.
 - Código LC2 (civil), el cual tiene mejores características e incluye dos códigos PRN civiles, el CM moderado y el CL largo.
 - La **señal L5**: actualmente en pruebas del bloque IIR (M), emitirá los códigos I5 y Q5.
- **Mensaje (datos de navegación y sistema)**: contiene los datos necesarios para que el usuario lleve a cabo las operaciones necesarias para la navegación.



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

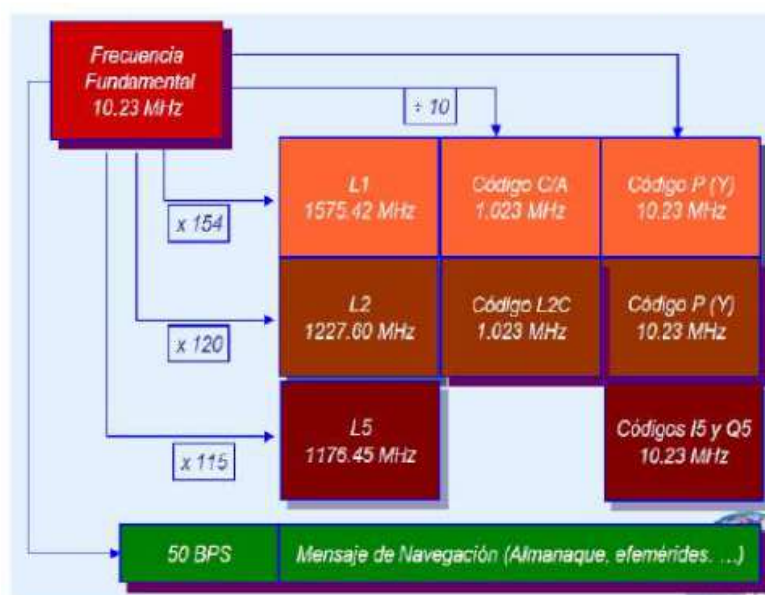


Ilustración 15. . Códigos del GPS. (Joglar Alcubilla, 2014)

1.7.1.2 Segmento de Control

La función de este segmento es realizar un seguimiento continuo de los satélites GPS, operar y monitorizar el sistema desde la Tierra.

El segmento de control lo forma una estación principal, MCS (Master Control Station), en Colorado Spring y cinco estaciones de control (Monitor Station): Hawaii, Isla Ascensión, Isla Diego García, Isla Kwajalein y cabo Cañaveral. Si MCS de Colorado falla, existen dos estaciones de reserva en California y Maryland. Sus posiciones geodésicas son conocidas con gran precisión.



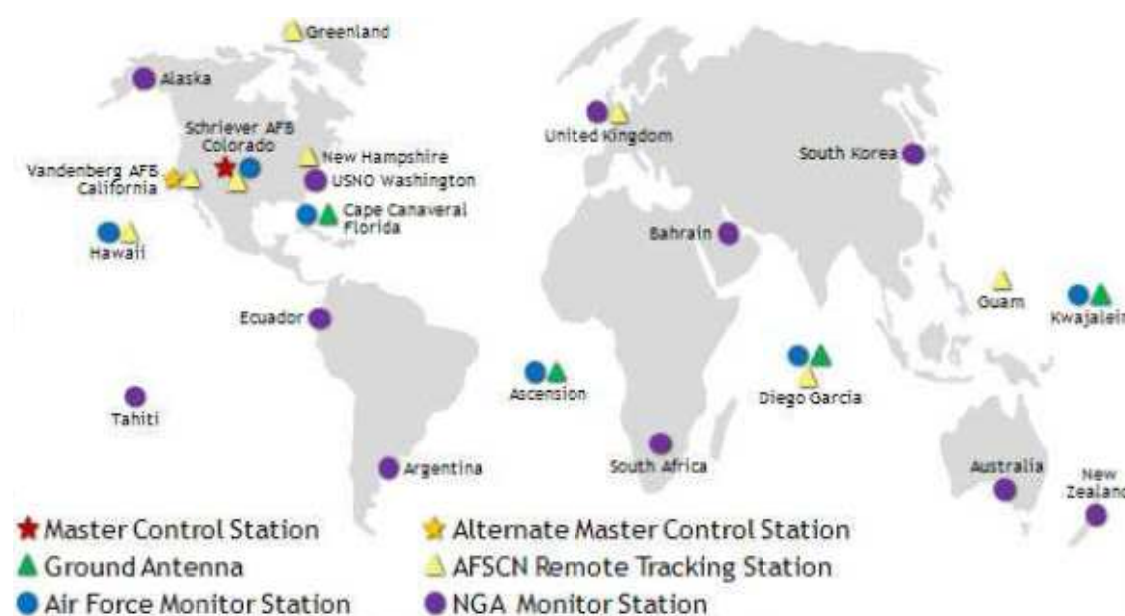


Ilustración 16. Estaciones del Segmento de Control. (Ochoa Oballos & Castillo Parada)

Cada estación está equipada con relojes atómicos de cesio por lo que se conocen la posición de cada estación y las coordenadas temporales.

Las estaciones de control reciben las señales transmitidas por los satélites visibles y obtienen la información necesaria para calcular con gran precisión las orbitas de los satélites. Una vez transmitidos estos datos a la estación principal, esta calcula las efemérides de los satélites y se incluyen en el mensaje de navegación.

1.7.1.3 Segmento Usuario

Permite lograr que cualquier receptor GPS sea capaz de realizar un seguimiento continuo de los satélites para determinar los parámetros orbitales y el estado de sus osciladores. Está formado por:

- **Antena:** se encarga de recibir y amplificar la señal recibida por los satélites.
- **Receptor:** recibe la señal recogida por la antena y decodifica esta para convertirla en información legible.



1.7.2 Fuentes de error en GPS

Igual que en todos los equipos que utilizamos, una observación GPS también está sometida a varias fuentes de error, que se pueden minimizar dependiendo del equipo que utilicemos y la metodología de la observación. Estas fuentes de error son las siguientes:

- **Retrasos ionosféricos:** al pasar la señal del satélite a través de la ionosfera, su velocidad disminuye, produciéndose un efecto similar a la refracción. Estos retrasos atmosféricos pueden introducir un error en el cálculo de la distancia, ya que la velocidad de la señal se ve afectada (Ilustración 17). Algunos factores que influyen:
 - Elevación del satélite.
 - La densidad de Ionosfera.
 - El vapor de agua.

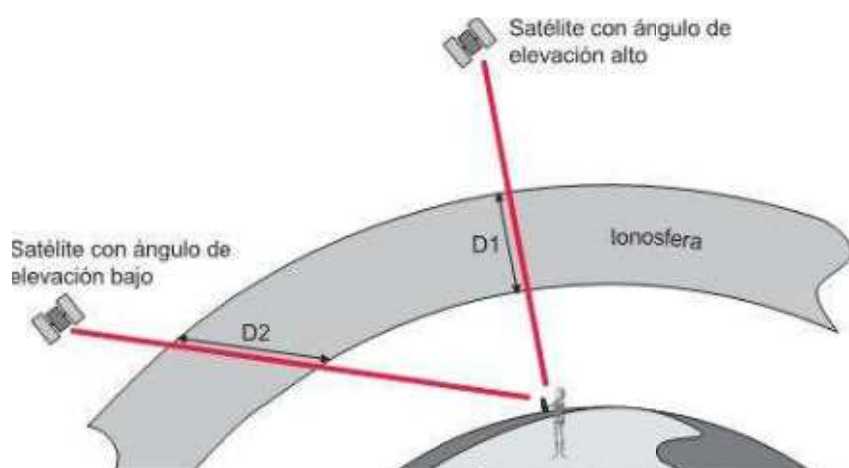


Ilustración 17. Retraso Ionosférico (Principales Fuentes de error GPS, 2012)

- **Errores en el reloj del Satélite y del Receptor:** a pesar de la alta precisión de los relojes (≈ 3 nanosegundos), algunas veces presentan una pequeña variación en la velocidad de marcha y producen pequeños errores, afectando a la exactitud de la posición.
- **Efecto Multipath:** este error puede darse cuando el receptor se sitúa cerca de una gran superficie reflectora, tal como un lago o un edificio. Es debido a que la señal



del satélite no viaja directamente a la antena, sino que llega primero al objeto cercano y luego es reflejada a la antena, provocando una medición falsa (Ilustración 18). Este tipo de errores pueden ser reducidos utilizando antenas GPS especiales que incorporan un plano de tierra, que filtra las señales procedentes con un ángulo de elevación bajo.

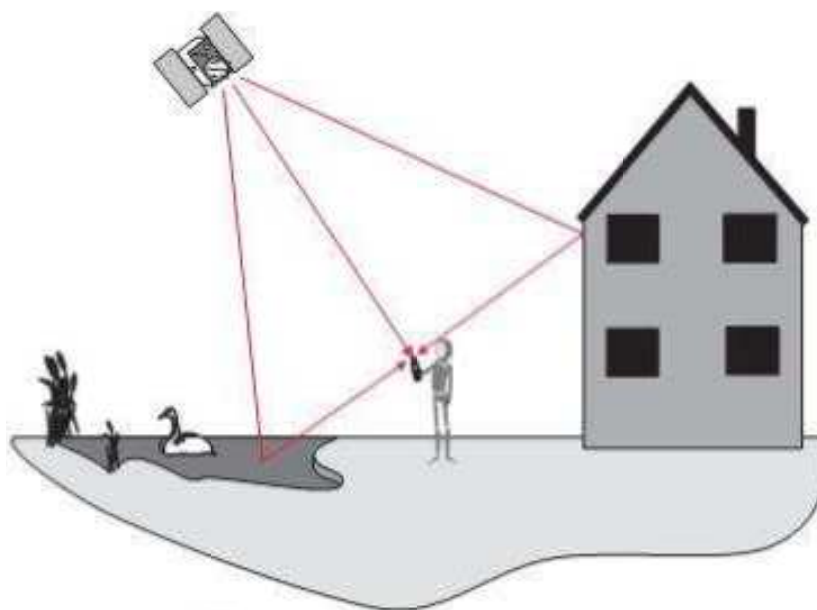


Ilustración 18. Efecto Multipath. (Principales Fuentes de Error en GPS, 2012)

- **Dilución de la Precisión (DOP):** es una medida de la fortaleza de la geometría de los satélites y está relacionada con la distancia entre los satélites y su posición en el cielo. El DOP puede incrementar el efecto del error en la medición de distancia a los satélites. Cuando los satélites están bien distribuidos, la posición se determina en un área menor y el margen de error posible es mínimo. Cuando los satélites están muy cerca unos de otros, el área de encuentro también aumenta, de manera que se incrementa la incertidumbre de la posición (Ilustración 19).



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

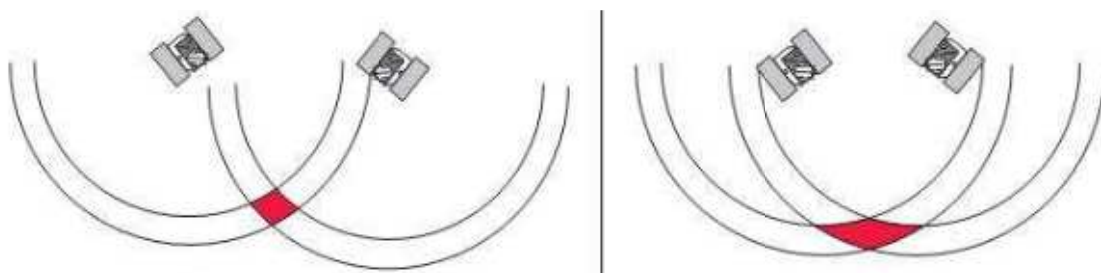


Ilustración 19. Dilución de la precisión. (Principales Fuentes de Error en GPS, 2012)

Existen diferentes tipos de Dilución de la Precisión:

- **VDOP (Dilución Vertical de la Precisión):** degradación de la exactitud en la dirección vertical.
- **HDOP (Dilución Horizontal de la Precisión):** degradación de la exactitud en la dirección horizontal.
- **PDOP (Dilución de la Precisión en Posición):** degradación de la exactitud en posición 3D.
- **GDOP (Dilución de la Precisión Geométrica):** degradación de la exactitud en posición 3D y en tiempo.

El valor más importante es el GDOP, pues se trata de una combinación del resto. Cabe destacar que es importante conservar una buena distribución de satélites y eliminar aquellos cuya elevación sea poca, pues influirá bastante a la hora de introducir fuentes de error (Ilustración 20).

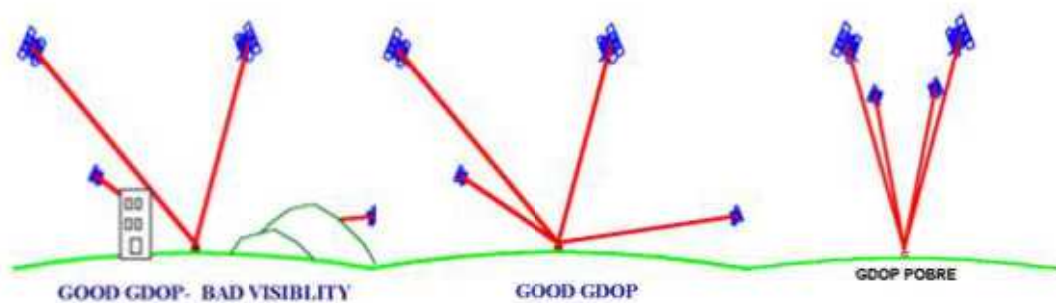


Ilustración 20. GDOP (Dilución de la Precisión Geométrica). (Fuentes de Error GPS)



- **Disponibilidad Selectiva (S/A):** es un proceso aplicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos a la señal GPS. Su finalidad era denegar, tanto a usuarios civiles como a las potencias hostiles, el acceso a toda la precisión que brinda el GPS, sometiendo a los relojes del satélite a un proceso conocido como "dithering" (dispersión), el cual altera el tiempo ligeramente. Además, las efemérides (o la trayectoria que el satélite seguirá), son transmitidas ligeramente alteradas respecto a las verdaderas. El resultado final es una degradación en la precisión de la posición. Esta medida solo afectaba a aquellos usuarios que trabajaban de manera autónoma. Se desactivó totalmente.
- **Anti Spoofing:** es similar al efecto S/A, pues su objetivo era no permitir que los usuarios civiles y las fuerzas hostiles tengan acceso al código P de la señal GPS, obligándolos a emplear el código C/A, al cual se aplica el efecto S/A. El efecto Anti-spoofing encripta el código P en una señal conocida como código Y. Sólo los usuarios con receptores GPS militares (EEUU y sus aliados) pueden descifrar el código Y. El código P modula a la portadora con una frecuencia de 10.23 Hz., mientras que el código C/A lo hace a 1.023 Hz, resultando más preciso, de manera que las distancias se puede calcular mejor, ya que se trasmite 10 veces más por el código P. Por todas estas razones, los usuarios de receptores GPS militares generalmente obtendrán precisiones del orden de 5 metros, mientras que los usuarios de equipos GPS civiles equivalentes únicamente alcanzarán precisiones de 15 a 100 metros.

1.8 GLONASS

GLobal Orbiting NAVigation Satellite System es un GNSS desarrollado por el Ministerio de Defensa Ruso. El propósito de este sistema es dotar de posicionamiento espacial y temporal, y medida de velocidad en toda la Tierra así como en el espacio cercano, a un número ilimitado de usuarios bajo cualquier circunstancia.

Comenzó a ser operativo en 1996 con el sistema geodésico ruso PZ90, pero en 2007 se adaptó al WGS84.





Ilustración 21. Esquema de un Satélite de la constelación GLONASS. (Noticias de la ciencia de la Tecnología, 2011)

1.8.1 Composición del Sistema GLONASS

Al igual que todos los GNSS, el sistema GLONASS está constituido por tres sectores fundamentales:

- **El segmento espacial:** está formado por una constelación de 24 satélites en órbita, distribuidos en tres planos orbitales separados 120° , que contienen ocho satélites a 19.100 km de altura con una inclinación de $64,8^\circ$ y que tarda 11 horas y 15 minutos en completar una órbita (Ilustración 22). Actualmente no están distribuidos de manera uniforme.



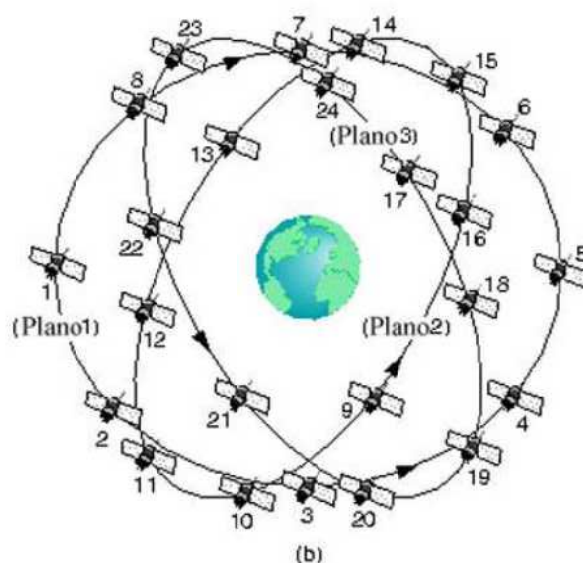


Ilustración 22. Segmento espacial GLONASS. (Pasión por Volar)

Cada satélite GLONASS dispone de un pequeño reflector, que es usado para el seguimiento de los satélites por láser desde las estaciones de control. Existen cuatro prototipos de satélites (Ilustración 23).



Ilustración 23. Prototipos de satélites GLONASS. (Marín, 2014)

- **El Segmento de Control:** está formado por un sistema central de control (SCC) en la región de Moscú y una red de estaciones de seguimiento de control (Command Tracking Stations, CTS), por toda Rusia. Su función es la monitorización de los satélites y ajustar los parámetros orbitales. Este sector está compuesto por 9 estaciones: 1 general, 5 de rastreo y 3 de datos.



- **El Segmento Usuario:** está formado por una antena, amplificador y un receptor, así como terminal o colector de datos. La antena suele llevar un plano de tierra para evitar el Efecto Multipath. Los receptores se encargan de seleccionar los satélites que le aportan la información para calcular la posición, medir el tiempo entre transmisiones y la hora para lo cual disponen de un reloj para sincronizar las señales recibidas. Lo normal y aplicado para la Topografía es encontrar un receptor combinado GPS/GLONASS.

La combinación de los tres sectores proporciona el tiempo y la posición con una cobertura global, garantizando que cualquier usuario dispone en todo momento de entre 6-8 satélites visibles sobre el horizonte.

1.9 GALILEO

Galileo es la iniciativa europea para satisfacer las necesidades de la comunidad civil mundial, con cobertura global, pero también incluyendo un acceso restringido.

GALILEO va a ser el único sistema europeo de navegación global por satélite. Hasta ahora, los usuarios de los GNSS en Europa no han tenido otra alternativa que utilizar las señales de los satélites del GPS norteamericano o el ruso GLONASS. Sin embargo, los operadores militares de estos sistemas no pueden dar ninguna garantía de mantener un servicio ininterrumpido.



Ilustración 24. Datos del Sistema GALILEO. (Centro de Información Galileo para América Latina)



Mientras tanto, el posicionamiento por satélite se ha convertido en la herramienta estándar y esencial para la navegación. Si las señales GNSS se apagaran en las tripulaciones de mañana, los buques y aeronaves de todo el mundo estarían en apuros para volver a los métodos de navegación tradicionales. Como el uso de satélites de navegación se extiende, las consecuencias del incumplimiento de la señal es aún mayor, poniendo en peligro no sólo el funcionamiento eficiente de los sistemas de transporte, sino también la seguridad humana.

Ya en la década de 1990, la Unión Europea vio la necesidad de una Europa controlada por el sistema mundial de navegación por satélite. La decisión de construir una fue tomada en el espíritu de otros bien conocidos esfuerzos europeos, como el lanzador Ariane y Airbus.

La independencia europea es la principal razón para tomar este paso importante. Pero, por ser interoperable con el GPS y GLONASS, GALILEO será también, de una manera muy real, la nueva piedra angular del sistema mundial de navegación por satélite (GNSS). Este sistema en todo el mundo a partir de ahora estará bajo control civil. Y con su asignación completa de los satélites, más que los actuales sistemas GNSS, Galileo permitirá a los puestos que se determinen con precisión incluso en las ciudades de gran altura, donde los edificios ocultan las señales de los satélites hoy en día.

Galileo también ofrece varias mejoras que hacen la señal de la señal sea más fácil de rastrear y adquirir y más resistente frente a las interferencias y los reflejos. El GNSS Europeo prestará servicios mucho más precisos y mucho más fiables que los sistemas estadounidense y ruso. Esto significa que Galileo y EGNOS harán posible una gama completamente nueva y prácticamente ilimitada de "fiabilidad de los servicios críticos", aplicaciones y oportunidades de negocio.

Al colocar los satélites en órbitas a una mayor inclinación respecto al plano ecuatorial, Galileo contribuirá a lograr una mejor cobertura en las latitudes altas, por lo que es especialmente adecuado para operar en todo el norte de Europa, una zona no bien cubierta por el sistema GPS.

Así, con Galileo, Europa será capaz de aprovechar las oportunidades que ofrece la navegación por satélite en un grado mucho más completo que la actualmente posible.



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

Como consecuencia, el receptor GNSS Europeo y fabricantes de equipos, proveedores de aplicaciones y operadores de servicios se beneficiarán de las oportunidades de negocios.

1.9.1 Plan de implementación de GALILEO

- **2014: CAPACIDAD OPERATIVA INICIAL (COI):**
 - 18 Satélites en órbita bajo 4 m de precisión horizontal.
 - Interoperable con el GPS para una mayor precisión (los receptores actuales simplemente requerirían obtener actualizaciones de firmware).
- **2020: PLENA CAPACIDAD OPERACIONAL:**
 - Completa operatividad de constelación (27+3 satélite).

La interoperabilidad es esencial, ya que GPS y GALILEO transmitirán en el mismo rango de frecuencias y utilizando el mismo formato de mensaje, que los receptores actuales, con actualizaciones de firmware pertinentes tengan la capacidad de hardware para utilizar las dos constelaciones de precisión mejoradas.



Ilustración 25. Componentes principales de la Red GALILEO. (Centro de Información Galileo para América Latina)



1.9.2 Servicios GALILEO

GALILEO está progresando, actualmente en transición entre la fase de desarrollo (IOV, In-Orbit Validation) y la implementación final. En resumen, una serie de satélites ya han sido desplegados:

- GIOVE-A, GIOVE-B: Misiones en curso para la validación en órbita.
- FOC (Full Operational Capability): puesta en marcha en curso.
- Primeros satélites IOV lanzados en octubre de 2011.
- Primeros servicios GALILEO esperados para 2014/2015.

GALILEO tendrá una disponibilidad superior al 99.5%, entregando un conjunto de servicios para aplicaciones de usuario final como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Conjunto de Servicios del Sistema GALILEO. (Centro de Información Galileo para América Latina)

SERVICIO	CARACTERÍSTICAS	PRECISIÓN HORIZONTAL/VERTICAL	INTEGRIDAD
Abierto	Libre para el aire, mercado de masas, posicionamiento simple	4m / 8m	NO
Público regulado	Encriptado, robusto, disponibilidad continuada	4m / 8m	NO
Safety of Life	Añada integridad al Servicio abierto	4m / 8m	SI (LPV200)
Comercial	Encriptado, alta precisión, servicio de valor añadido	Requerimientos detallados de funcionamiento bajo elaboración	



1.9.3 Aplicaciones del Sistema GALILEO

Los proveedores de servicios, empresas de fabricación y autoridades públicas deben todos tomar una mirada seria a lo que Galileo tiene para ofrecer, y establecer sus prioridades a fin de no dejar pasar las grandes oportunidades que traerá. Desde que los ordenadores personales o la telefonía móvil barrieron los mercados mundiales de consumo, el mundo no había visto tal amplia gama de nuevas oportunidades comerciales y de servicio público y aplicaciones. Muchas de las aplicaciones potenciales ya han sido identificadas, basadas en el aumento de la calidad y la fiabilidad de las señales de navegación Galileo, pero esta lista seguramente crecerá, limitada solamente por la imaginación de los empresarios innovadores y proveedores de servicios.



2 Objetivos del trabajo y área de estudio



2. Objetivos del trabajo y área de estudio

2.1 Objetivos del trabajo

El objetivo principal de este trabajo, es la creación y ampliación de una red de puntos microgeodésicos de apoyo propia de la ETSIA, de coordenadas conocidas para la realización de las prácticas de las asignaturas de Topografía y Geomática en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (ETSIA), y sus inmediaciones.

Los puntos que conforman dicha red, deben de estar referenciados con la Red Española de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP), cumpliendo los requisitos de precisión establecidos para una nivelación de este tipo (error de cierre en mm inferior a la raíz cuadrada de la distancia nivelada en km).

Como objetivo secundario, y aprovechando la alta precisión de las técnicas utilizadas de altimetría y georreferenciación con Nivel Electrónico, Estación Total y GPS, se evaluará la precisión de las cotas obtenidas por los diferentes métodos, especialmente la obtenida con equipos GPS-GNSS empleando el modelo de ondulación del geoide EGM2008-REDNAP del Instituto Geográfico Nacional (IGN) para la obtención de cotas ortométricas.

La obtención de coordenadas en diferentes días y por diversos métodos nos permitirán, no solo evaluar la precisión de las cotas ortométricas obtenidas con el GPS, sino asegurar que las coordenadas obtenidas para dichos puntos alcanzan unos niveles de precisión tales que permitan desarrollar estudios futuros con una mayor precisión y seguridad.

El motivo fundamental de seleccionar un trabajo de investigación como trabajo fin de grado, se debe al importante y creciente valor que tiene la precisión en las medidas topográficas, ya que de ello dependen muchas aplicaciones en ámbitos de hidrografía, geología, ingeniería civil y agricultura de precisión, además de comparar las diferentes técnicas utilizadas para su obtención y contrastar sus precisiones, y así poder elegir la más adecuada a cada tipo de trabajo o precisión exigida.

La evolución de la topografía está ligada a adelantos tecnológicos procedentes de la exigencia de obtener mayores precisiones en los trabajos que lo que se refleja en mejoras de equipos, de métodos y de procedimientos de cálculo. Los cambios



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

instrumentales se han apoyado sobre todo en la aparición de la informática, en los adelantos de la electrónica aplicada y del posicionamiento por satélite. Hoy día, el GPS es parte vital de las actividades topográficas y cartográficas puesto que ha logrado aumentar considerablemente la productividad y proporcionar datos precisos y fiables.

De manera más concreta, lo que se pretende conseguir con este proyecto son conocimientos sobre técnicas y métodos actuales, capacidad para ver, pensar, interpretar y efectuar toma de datos para materializarlos sobre el terreno.

2.2 Área de estudio

La zona objeto del estudio se encuentra dentro del Campus de la Universidad Pablo de Olavide, en el cual se encuentra la ETSIA, perteneciente a la Universidad de Sevilla (Ilustración 26).



Ilustración 26. Localización del área de estudio. (Mapa Provincial de Sevilla)



2. Objetivos del trabajo y área de estudio

A continuación se muestra un mapa (Ilustración 27) de localización del área de estudio y su situación con respecto a la población más cercana, en este caso, el barrio de Condequinto, perteneciente a Dos Hermanas (Sevilla).

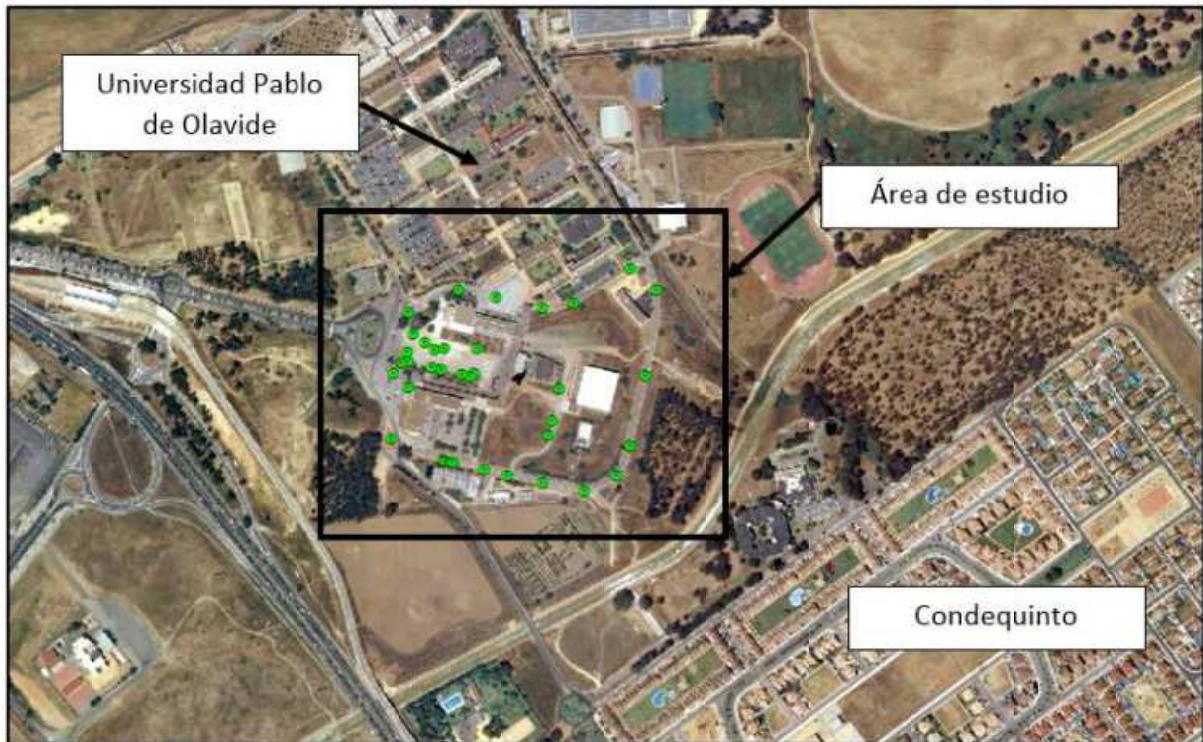


Ilustración 27. Área de estudio (Ortofotografía Digital de Andalucía)

Los puntos que serán objetos de dicho trabajo se encuentran distribuidos por diferentes zonas del campus, como son:

- Plaza Pablo de Olavide
- Plaza de América
- Aparcamientos ETSIA
- Circunvalación del campus Pablo de Olavide



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

En la siguiente imagen se puede ver con más detalle los puntos medidos y su localización dentro del área estudiada (Ilustración 28).

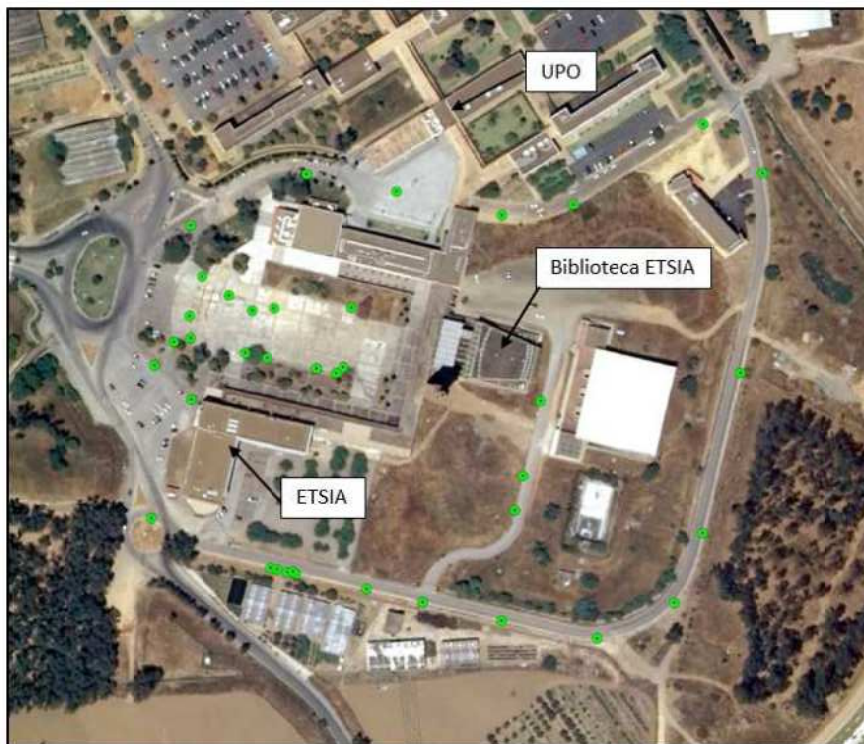


Ilustración 28. Localización de los puntos (Ortofotografía Digital Andaluía)



3 Material y métodos



3. Material y métodos

En este apartado, se procederá a explicar los materiales e instrumentos usados para la realización del informe, y la metodología de uso de los mismos.

3.1 Material

El material a utilizar para la realización del informe y la toma de datos es el que a continuación se detalla.

Se comienza describiendo los utensilios necesarios para los trabajos previos a las mediciones como la colocación de los clavos y su posterior identificación:

- Clavos topográficos GEO PUNT 50 mm



Ilustración 29. Clavo GEO PUNT 50 mm. (Grupo Acre)

- Martillo:



Ilustración 30. Martillo. (Bellota)



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

- Rotulador indeleble
- Pintura Spray Biodegradable



Ilustración 31. Spray Biodegradable

A continuación describiremos los instrumentos utilizados para la realización de las mediciones y la obtención de cotas y coordenadas:

- Nivel electrónico **Leica Sprinter 250M** (Ilustración 32):
 - o Nivelación de alta precisión.
 - Obtención de cotas ortométricas



Ilustración 32. Leica Sprinter 250M. (Leica Geosystems)



3. Material y métodos

- Estación total **Leica TC 705** (Ilustración 33):
 - o Con la medición realizada con este instrumento, no solo obtenemos alturas, sino también distancias y ángulos, con lo que podemos llegar conseguir coordenadas relativas con respecto a un sistema de referencia local.

- Coordenadas relativas (X, Y, Z)



Ilustración 33. Leica TC 705. (Leica Geosystems)

- Sistema GPS/GNSS **Leica System 1200** (Ilustración 34):
 - o Este sistema nos da la altura con respecto al elipsoide (altura elipsoidal, h).
 - o Con este sistema, se han realizado medidas en dos modos diferentes de trabajo:
 - RTK (*Real Time Kinematic*): posicionamiento en tiempo real.
 - PSP (Postproceso).
 - o Las coordenadas que obtenemos con este proceso pueden ser:
 - Coordenadas Geográficas
 - Coordenadas UTM



Ilustración 34. GPS Leica 1200. (Leica Geosystems)



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

Además de los instrumentos anteriormente nombrados, también se han utilizado otros instrumentos auxiliares como son:

- Prisma Circular Leica GPR-111 (Ilustración 35): prisma circular, fijado en un soporte de polímero, con una gran placa de puntería para una buena visibilidad. Precisión de centrado: 2.0 mm. Alcance: 2500 m.



Ilustración 35. Prisma Leica GPR-111. (Leica Geosystems)

- Mira Topográfica de Nivelación Leica GTL4C (Ilustración 36): mira de nivelación combi (código de barras y graduación en mm) de aluminio telescópica de 4 tramos.

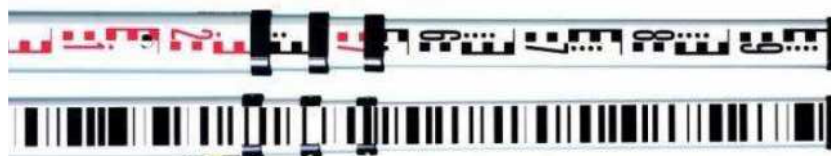


Ilustración 36. Mira Nivelación Leica GTL4C. (Leica Geosystems)



3. Material y métodos

- Mini prisma GMP-111 (Ilustración 37): sistema de prisma con cuatro varillas de aluminio atornillables que permiten cinco alturas de prisma diferentes. Incluye nivel. Constante de adición de prisma +17.5 mm. Alcance: 2000 m.



Ilustración 37. Mini prisma Leica GMP-111. (Leica Geosystems, s.f.)

- Trípode Leica GST-20 (Ilustración 38): trípode de madera que garantiza la máxima estabilidad controlando las oscilaciones de movimientos tanto verticales como horizontales. Dispone de correa de transporte y apriete roscado.



Ilustración 38. Trípode Leica GST-20 (Leica Geosystems)

- Trípode con pinza (Ilustración 39): trípode utilizado para garantizar la estabilidad y la correcta nivelación de la mira telescópica utilizada en la nivelación, y para nivelar el jalón del GPS.



Ilustración 39. Trípode con pinza. (Leica Geosystems)



Todo el instrumental utilizado para la realización del trabajo, ha sido cedido por el Departamento de Ingeniería Gráfica de la ETSIA.

3.1.1 Nivel Electrónico

El nivel topográfico, también llamado nivel óptico o equaltímetro es un instrumento que tiene como finalidad la medición de desniveles entre puntos que se hallan a distintas alturas o el traslado de cotas de un punto conocido a otro desconocido.

La determinación de la diferencia de altura entre dos puntos de un terreno es una de las mediciones topográficas más usadas. Dicha determinación recibe el nombre de nivelación y puede llevarse a cabo de distintas maneras. Una de ellas y la más utilizada es la nivelación directa o topográfica que, como su nombre indica, efectúa la medición directa de las distancias verticales entre dos puntos de interés mediante el uso de un nivel topográfico o equaltímetro y una regla de código de barras.

3.1.1.1 Características

Los niveles pueden ser manuales o automáticos, según se deba calibrar horizontalmente el nivel principal en cada lectura, o esto según se haga automáticamente al poner el instrumento “en estación”.

El nivel óptico consta de un anteojo similar al del teodolito con un retículo estadimétrico, para apuntar, y un nivel de burbuja muy sensible (o un compensador de gravedad o magnético en el caso de los niveles automáticos), que permita mantener la horizontalidad del eje óptico del anteojo, ambos están unidos solidariamente de manera que cuando el aparato está desnivelado, el eje del anteojo no se mantiene perfectamente horizontal, pero al nivelarlo, el aparato también mantiene horizontal el eje óptico.

Este instrumento debe tener unas características técnicas tales como burbuja para poder nivelar el instrumento, anteojo con los suficientes aumentos para poder ver las divisiones de la mira, y un retículo con hilos para poder hacer la puntería y tomar las



3. Material y métodos

lecturas, así como la posibilidad de un compensador para asegurar su perfecta nivelación y horizontalidad del plano de comparación.

En este caso, el dispositivo utilizado es un Nivel Electrónico Leica SPRINTER 250M (Ilustración 40). Dicho instrumento, como bien se puede apreciar en su ficha de características técnicas (Tabla 2), tiene una desviación típica por kilómetro de doble nivelación, usando la mira de código de barras es de 1 mm, pudiendo medir la mira en un rango de distancias de 2 a 100 m. aunque el equipo permite hacer visuales de hasta 100 m, durante el proceso de medición se evita realizar visuales superiores a 40 m con la finalidad de reducir el error por distancia.



Ilustración 40. Nivel Electrónico Leica SPRINTER 250M. (Leica Geosystems)

La pantalla del equipo ofrece información tanto de la lectura vertical (dato mínimo ofrecido en pantalla 0.1 mm) como de la distancia a la mira (dato mínimo ofrecido en pantalla 10 mm).

El software que incorpora este dispositivo permite realizar itinerarios altimétricos o líneas de nivelación entre otras opciones, registrando las mediciones realizadas hasta 1000 puntos y realizando posteriormente un volcado de datos a un ordenador en formato Excel.



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

Tabla 2. Características Técnicas Leica Sprinter 250M. (Leica Geosystems, s.f.)

DATOS TÉCNICOS	SPRINTER 250M
Precisiones de altura	<p>Desviación típica de la altura por km de nivelación simple</p> <ul style="list-style-type: none"> - Medición electrónica con mira de aluminio con código de barras Sprinter: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1.0 mm - Medición óptica con mira de aluminio estándar con escala E/mira con graduación: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2.5 mm - Desviación típica para lectura simple de mira: 0.6 mm (electrónica) y 1.2 mm (óptica) a 30 m
Precisiones de distancia	<ul style="list-style-type: none"> - Desviación típica de medición de distancia: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 10 mm para $D < 10$ m ▪ Distancia en m $\times 0.001$ para $D > 10$ m
Alcance	<p>Medición electrónica con mira de aluminio estándar con código de barras:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2 – 100 m
Modos de medición	Aislado y seguimiento
Tiempo para medida aislada	< 3 segundos para condiciones normales de iluminación diurna
Compensador	Compensador de péndulo de amortiguación magnética, con control electrónico del rango de inclinación
Anteojo	Aumento óptico 24x
Registro de datos	Hasta 1000 puntos
Fuente de alimentación	Pilas secas AA (4xLR6/AA/AM3 1.5 V)
Peso	< 2.5 kg



3.1.1.2 Principio de la Nivelación Geométrica

La nivelación geométrica es un método de obtención de desniveles entre dos puntos, que utiliza visuales horizontales. Para comprender este principio, se procede a comparar la siguiente situación con la que se puede encontrar en la práctica en campo (Ilustración 41):



Ilustración 41. Medición con nivel electrónico. (De Máquinas y Herramientas)

Con este ejemplo, se ve cómo se puede conocer la diferencia de altura entre los sitios señalados con las miras “A” y “C” tomando como referencia el plano horizontal que pasa por la parte superior de la mira “B”. En la práctica, este plano imaginario recibe el nombre de visual o línea/eje de colimación. Por lo tanto, “A” se encuentra a $(3,10 - 1,60) \text{ m} = 1,50 \text{ m}$ de altura, “C” se encuentra a $(3,10 - 2,80) \text{ m} = 0,30 \text{ m}$ de altura y la diferencia de altura entre ambos es $(1,50 - 0,30) \text{ m} = 1,20 \text{ m}$.



3.1.1.3 Tipos de Niveles Topográficos

Los niveles topográficos se dividen, según la forma en la que se utilizan en (Ilustración 42):

- **Niveles de plano:** se basan simplemente en un nivel de burbuja adosado a un telescopio o anteojo topográfico y un sistema de tornillos nivelantes. Tienen cierta dificultad para el calado de la burbuja en radios de curvatura muy grandes, lo que provoca una pérdida de precisión a las mediciones efectuadas.
- **Niveles de línea:**
 - De inclinación: no están sujetos a la plataforma nivelante y la horizontalidad se logra independientemente para cada línea de colimación. Cuentan con un nivel de burbuja esférico para la nivelación grosera del aparato con ayuda de tornillos y de un nivel de burbuja para mayor precisión. Este nivel de burbuja posee un tornillo basculante fino, que permite que el conjunto anteojo - nivel de burbuja efectúe pequeños giros verticales, posibilitando el calado de la burbuja.
 - Automáticos o auto-nivelantes: efectúan una nivelación grosera al estacionar el instrumento, pero no hay necesidad de nuevas manipulaciones. Esto es posible porque la línea de colimación queda automáticamente horizontal con gran exactitud en cualquier punto gracias a un mecanismo compensador (activado mediante espejos compensadores, sistemas de péndulos y otros) de modo que la nivelación definitiva se realiza automáticamente. Existen dos tipos:
 - Ópticos: emplean miras convencionales.
 - Digitales o electrónicos: pueden leer miras con códigos de barras, obteniendo la lectura en pantalla y pudiendo almacenarla en una memoria.
 - Láser: proyectan un rayo láser, tanto en la vertical como en la horizontal. Existen dos tipos:



3. Material y métodos

- Niveles láser de plano: generan planos verticales, horizontales u oblicuos mediante un sistema giratorio de la emisión del rayo láser y se utilizan principalmente para la nivelación de terrenos agrícolas.
- Niveles láser de línea: emiten un rayo fijo horizontal o vertical que permite efectuar una alineación y destacan su mayor aplicación en el control de alineaciones y pendientes.



Ilustración 42. Tipos de Niveles Topográficos. (De Máquinas y Herramientas)



3.1.1.4 Errores en el Nivel Electrónico:

A continuación se procede a describir los principales errores que se cometen al realizar trabajos con Nivel Electrónico:

- Errores instrumentales en el nivel electrónico:
 - El eje de puntería o de colimación debe ser perpendicular a la inclinación del eje horizontal. Este error consiste en la desviación con respecto al ángulo recto entre el eje de puntería y el eje de inclinación.
 - En condiciones atmosféricas muy adversas puede que no se consiga efectuar la medición con la misma rapidez.
- Errores sistemáticos en los niveles topográficos:
 - La curvatura o esfericidad de la Tierra: se debe a que el nivel, si está bien nivelado, genera visuales perpendiculares al eje que va desde nuestra posición al centro de masas de la tierra en cada zona, puesto que la Tierra no es plana, la visual se separa de la superficie terrestre.

$$e_c = \frac{D^2}{2 \cdot R}$$

Siendo:

- e_c : error de curvatura en milímetros.
- D: distancia entre los puntos a nivelar en metros.
- R: el radio de la Tierra (valor aproximado de 6370 km).

Despejando con un tamaño visual de 30 m, el e_c se reduce a 0.07 mm.

- La refracción óptica de la atmosfera: pudiendo expresarse mediante la siguiente formula (Sanjosé Blasco, J.J. et àl. 2009):

$$e_r = K \cdot \frac{D^2}{R}$$



Siendo:

- e_r : error de refracción en mm.
- K: coeficiente de refracción, que en España se sitúa en 0.08.
- D: distancia entre dos puntos anivelar en m.
- R: radio de la Tierra (valor aproximado de 6370 km).

Por tanto e_r es aún menor que e_c , alcanzando un valor para visuales de 30 m de 0.01mm.

Puesto que ambos errores, de esfericidad y refracción, se cometen en igual proporción tanto de frente como de espalda, donde se mantienen distancias similares, y estas visuales se hacen en un intervalo de tiempo tan corto que las condiciones atmosféricas no han podido cambiar significativamente, ambos errores se compensan en una nivelación de punto medio (Millán Gamboa, J.M., 2007).

Las mediciones con el nivel electrónico, al igual que con el resto de tipos de niveles topográficos, se deben realizar en días en que las condiciones climáticas no sean muy extremas para no influir en los resultados obtenidos, evitando días con fuertes vientos o lluvias imprevistas.

3.1.2 Receptor GPS/GNSS

Para la realización de este trabajo, las mediciones se han llevado a cabo con un dispositivo *GNSS* (Sistema Global de Navegación por Satélite) *System 1200* de Leica que permite la obtención de coordenadas UTM y Geográficas.



3.1.2.1 Definición

El GNSS System 1200 de Leica (Ilustración 43) es un aparato capaz de obtener coordenadas mediante la recepción de señales emitidas por los satélites GPS, GLONASS y Galileo. También tiene la propiedad de recibir correcciones diferenciales a través de Internet de una red de estaciones de referencia, en este caso, la RAP o también nos ofrece la posibilidad de grabar los datos para mejorar las coordenadas obtenidas en post proceso. La conexión a Internet se realiza a través de la tecnología GSM en 4G y actualmente la falta de cobertura no es una limitación siempre y cuando se trabaje cerca de entornos urbanos. Es importante recordar que el equipo trabaja por defecto en el sistema WGS84.



Ilustración 43. GNSS Leica System 1200 (Leica Geosystems)

Conviene advertir que, si bien el equipo que hemos empleado es GNSS, al trabajar con la RAP como referencia, al ser esta solo GPS, en realidad no estamos aprovechando todo el potencial de nuestro receptor.



3. Material y métodos

A continuación se exponen las principales características del GPS/GNSS Leica 1200 (Tabla 3 y Tabla 4)

Tabla 3. Características GPS/GNSS Leica 1200 (Leica Geosystems, s.f.)

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GX1230 GG / ATX1230 GG			
Tipo de Receptor	Receptor geodésico de doble frecuencia GNSS para cinemático en tiempo real		
Sumario de modos de medición y aplicaciones	Estático, Estático Rápido, Cinemático, OTF L1 + L2, código, fase RTK en Tiempo real, Post proceso, DGPS/RTCM Aplicaciones topográficas, geodésicas y RTK en tiempo real		
Tecnología del receptor	SmartTrack+ se basa en la tecnología SmartTrack y ha sido ampliado para señales GNSS. Mitigación de multipath en código y fase.		
L5 and GALILEO	Si		
Número de Canales	72 canales 14 L1 + 14 L2 GPS 2 SBAS 12 L1 + 12 L2 GLONASS		
LED indicadores de estado	3: Batería, seguimiento, Bluetooth		
Puertos	1 RS232 puerto clip-on		1 puerto USB
Voltaje suministrado Consumo	Nominal 12V DC	Rango de 10.5-28V DC	Típicamente 1.8W, 270 mA
Peso, solo receptor	1.12kg		
Antena topográfica estándar AX1202 GG, L1/L2 SmartTrack+			
Plano de tierra	Plano de tierra incorporado		
Dimensiones (diámetro x altura)	170mm x 62mm		
Peso	0.44kg		
TERMINAL ATX1230 GG / ATX1230 GX1230 GG / GX1230 GX1220 GX1210			
Tipo	RX1210, RX1210T (con pantalla táctil) para GX1230 GG/GX1230/GX1220/GX1210 RX1250 para ATX1230 GG/ATX1230		
Display	¼ VGA, monocromo, capacidad de gráficos, iluminación		
Pantalla táctil (RX1210T solo)	Cristal con una película endurecida		
Teclado	Todo alfanumérico, 12 teclas de función, 6 teclas configurables		
Peso del Terminal	RX1210 0.48kg		
Pesos totales del sistema	SmartRover 2.79kg (todo en el bastón) GX1200 Rover 4.15kg (todo en el bastón) GX1200 Rover 1.80kg (peso en el bastón en configuración de mochila)		



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

Tabla 4. Precisión de las mediciones GPS/GNSS Leica 1200 (Leica Geosystems, s.f.)

PRECISIÓN DE LAS MEDICIONES EN CÓDIGO Y FASE (INDEPENDIENTEMENTE DE SI EL A/S ESTÁ ACTIVADO / DESACTIVADO)	
Fase en onda portadora L1	0.2mm emc
Fase en onda portadora L2	0.2mm emc
Código(pseudodistancia)L1	2cm emc
Código(pseudodistancia)L2	2cm emc
PRECISIÓN (EMC) CON POST PROCESAMIENTO	
Estático (fase), base líneas largas, antena choke-ring	Horizontal: 3mm + 0.5ppm Vertical: 6mm + 0.5ppm
Estático y estático rápido (fase) con (antena estándar)	Horizontal: 5mm + 0.5ppm Vertical: 10mm + 0.5ppm
Cinemático (fase), en movimiento, después de la iniciación	Horizontal: 10mm + 1ppm Vertical: 20mm + 1ppm
Solo código:	Típicamente 25cm
PRECISIÓN (EMC) CON TIEMPO REAL / RTK	
Capacidad RTK:	Si, estándar
Estático rápido(fase)	Horizontal: 5mm + 0.5ppm Vertical: 10mm + 0.5ppm
Cinemático (fase)	Horizontal: 10mm + 1ppm Vertical: 20mm + 1ppm
Solo código:	Típicamente 25cm



3. Material y métodos

A continuación se expone la Tabla 5 con los tiempos de observación necesarios para los trabajos de observación con GPS/GNSS:

Tabla 5. Tiempos de observación GPS/GNSS (Sánchez Sobrino, 2010)

MÉTODO DE OBSERVACIÓN	Nº DE SATÉLITES GDOP ≤ 8	LONGITUD DE LA LÍNEA BASE	TIEMPO DE OBSERVACIÓN		PRECISIÓN
			DÍA	NOCHE	
Estático – Rápido	≥ 4	Hasta 5 km	5'– 10'	5'	5–10 mm + 1 ppm
	≥ 4	5 a 10 km	10'– 20'	5'– 10'	5–10 mm + 1 ppm
	≥ 5	10 a 15 km	20' o más	5'– 20'	5–10 mm + 1 ppm
Estático	≥ 4	15 – 30 km	1 – 2 horas	1 hora	5 mm + 1 ppm
	≥ 4	Más de 30 km	2 – 3 horas	2 horas	5 mm + 1 ppm

3.1.3.2 Corrección Diferencial

Con objeto de mejorar la precisión de los sistemas GPS/GNSS, existen equipos receptores denominados DGPS/DGNSS o GPS/GNSS con corrección diferencial. Estos equipos permiten procesar, aparte de las señales de los satélites, una señal específica de un equipo situado en un punto de coordenadas conocidas denominado base. De esta forma la precisión alcanza niveles centimétricos. Esta corrección se basa en que, ya que los posibles errores en la medición GPS afectan de forma muy parecida a equipos situados relativamente próximos entre sí, el procesado de estos datos aporta una mayor exactitud al sistema. Para las comparaciones se utilizan estaciones de referencia de coordenadas conocidas, ya sean públicas o privadas.

La corrección diferencial puede realizarse en post proceso, con datos obtenidos en campo y volcados posteriormente a un ordenador, o en tiempo real mediante una conexión a internet.

La corrección en tiempo real fue desarrollada para permitir una correcta aproximación de barcos y aviones a puertos y aeropuertos contrarrestando la



disponibilidad selectiva introducida en la señal GPS por el Departamento de Defensa de los EEUU

3.1.3.3 Trabajo con GPS en tiempo real (RTK-Real Time Kinematic)

La metodología en tiempo real se basa en el cálculo de ambigüedades en el mismo instante de la toma de datos. Tras poner en funcionamiento el receptor de referencia se ha de esperar que este resuelva ambigüedades antes de proceder a la obtención de datos de los puntos del levantamiento. Si el número de satélites sobre el horizonte y su geometría es válida, el receptor de referencia fija ambigüedades en pocos minutos. Una vez realizada esta operación el cálculo de coordenadas en el sistema de referencia adoptado de los demás puntos será instantáneo.

Todo el avance que existe en la actualidad en los métodos de medición GPS, ha sido gracias al desarrollo de técnicas introducidas en los últimos años. Debido a que la constelación se ha completado con 24 satélites es posible llevar a cabo posicionamientos en los que las condiciones de cobertura son más estrictas, de esta manera tenemos una cobertura de 24 horas al día en cualquier parte del mundo.

La comunicación entre la estación de referencia y los Rover, es posible gracias al sistema de telecomunicaciones utilizado para la transmisión, con un alcance de 5 km entre ambos receptores. Para evitar problemas de comunicación entre receptores debe elevarse la antena del receptor lo máximo posible.

El procedimiento para efectuar el levantamiento al detalle con equipos GPS en tiempo real requiere el mismo equipo que para posicionamientos diferenciales, además de sistemas de transmisión de telecomunicaciones.

Se deja la estación de referencia tomando datos, para que, una vez en gabinete, se puedan calcular las coordenadas precisas de la estación en Postproceso, o introduciendo las coordenadas conocidas con anterioridad, el receptor enviará las correcciones al Rover a través de un sistema de telecomunicaciones operativo entre ambos receptores.

Las coordenadas de los puntos, se obtienen en el sistema de referencia WGS84, pero la metodología RTK permite asociar una proyección y un sistema de referencia



3. Material y métodos

distinto. Se pueden obtener las coordenadas de los puntos directamente en la proyección UTM. También podrían obtenerse de cualquier otro sistema de referencia local con respecto al cual se haya realizado la georreferenciación (transformación del sistema de referencia). Las precisiones obtenidas en las coordenadas del levantamiento dependerán de varios factores como son la precisión de las coordenadas de la red, la precisión de los equipos, errores accidentales, etc.

De esta forma, la precisión de los puntos del levantamiento puede llegar a ser del orden de 2-3 cm. La estación de referencia tiene un radio enlace conectado y transmite datos que recibe de los satélites. El Rover también tiene un radio enlace, y recibe la señal transmitida de la referencia. Este receptor también recibe los datos de los satélites directamente desde su propia antena. Estos dos conjuntos de datos pueden ser procesados juntos en el móvil, para resolver ambigüedades y obtener una posición precisa en relación a la referencia.

Una vez que el receptor de referencia se ha instalado y está transmitiendo datos mediante el radio enlace, se puede activar el móvil.

Cuando está rastreando satélites y recibiendo datos de la referencia, puede comenzar el proceso de inicio. Una vez que se ha completado el inicio, las ambigüedades son resueltas y el móvil puede registrar puntos y sus coordenadas. En este punto las precisiones de las líneas base serán de 1-5 cm.

Es importante mantener contacto con el receptor de referencia, de otra manera, el móvil puede perder precisión, si esto sucediese la posición calculada sería menos precisa. Además se pueden presentar problemas cuando se mide cerca de árboles, edificios, etc..., ya que la señal de los satélites puede ser bloqueada, el anteriormente nombrado Efecto Multipath.

El RTK se está convirtiendo en el método de levantamiento GPS de alta precisión más común, puede ser utilizado en aplicaciones donde se utilizan las estaciones totales convencionales, esto incluye levantamientos al detalle, estaqueo, replanteo, etc.



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

Este método de medición con GPS requiere la utilización de dos receptores de señal GPS:

- Equipo GPS de Referencia: captará todos los satélites a la vista y envía los datos observados al Radio-Módem.
- Equipo GPS Móvil o Rover: recibirá los datos enviados por el equipo de referencia con la finalidad de calcular los datos de su posición.

Receptor de Referencia RTK

Como ya hemos comentado, el funcionamiento del sistema RTK está basado en un radioenlace entre equipos de Referencia y Móvil, si este no se produce, simplemente no hay RTK. El receptor de referencia va equipado con un radio-modem que se encarga de esta función.

Es importante también considerar meticulosamente la ubicación de la estación de referencia. Básicamente hay dos premisas a cumplir:

- Horizonte completamente despejado, libre de obstrucciones físicas y evitando en lo posible la cercanía a radiotransmisores potentes.
- Elevación, una estación de referencia RTK conviene que este lo más alta posible, intentando que domine el área de trabajo. Esta es la condición más importante para asegurar el mayor alcance de nuestro radioenlace.

Alternativamente, existen receptores GPS que pueden realizar este radioenlace mediante telefonía móvil GSM. Es decir, en vez de utilizar radio-modem, este se sustituye por una tarjeta SIM que nos asegurará la conexión con la referencia, mientras haya cobertura por el operador de telefonía. Existen también receptores GPS que pueden combinar ambas tecnologías simultáneamente, el usuario deja configurado el receptor de referencia con ambos sistemas, y es en el equipo móvil donde elegiremos el tipo de comunicación (radio-modem o GSM) según las condiciones de cobertura.

Conseguir una cobertura completa del radioenlace, no siempre es posible, sobre todo si nuestro trabajo consiste en levantamientos a lo largo de obras lineales de muchos kilómetros. En esta situación la única alternativa, es la implantación de estaciones de



referencia temporales, en donde la estación de referencia se va trasladando a puntos a lo largo del levantamiento, que cumplan las condiciones antes descritas para una estación de referencia.

Receptor Móvil RTK

Un receptor móvil RTK, al igual que el receptor de referencia, estará dotado de un radio-modem. La función del mismo será recibir los datos emitidos por la estación de referencia, con el fin de procesarlos junto con los datos correspondientes a su situación, y de este modo calcular con precisión su posición.

En un receptor móvil consideraremos las siguientes características que influirán directamente en su productividad:

- **Radio-modem:** se encargará de recibir y proporcionar al GPS los datos emitidos de la referencia. Deberá tener la mayor capacidad de recepción posible, así como un bajo peso y consumo, ya que forma parte del sistema que el usuario debe transportar continuamente. También es importante que disponga de la función de emisor y de receptor, esto nos posibilitará la reversibilidad de función como referencia o como equipo móvil indistintamente. Esta última característica también proporciona, en el caso de trabajar con tres receptores (1 referencia + 2 móviles) la posibilidad de sustituir al equipo de referencia ante una hipotética avería.
- **Antena de radio-modem:** será fundamental trabajar con antenas de la mayor ganancia posible, pues esto redundará en una mayor distancia de trabajo con respecto a la referencia.
- **Actualización de la Posición y Latencia:** el receptor móvil nos proporcionará posición precisa, pero es muy importante tener en cuenta dos características, la actualización y la latencia. La actualización consiste en el número de posiciones por segundo que calcula el receptor, pero el cálculo de esa posición necesita un tiempo, lo que se traduce en un retardo denominado Latencia. A efectos prácticos, la Latencia sería el tiempo que tarda el receptor en informarnos de que nuestra posición ha cambiado.



Fases del trabajo en tiempo real con módulo RTK:

- Equipo de trabajo mínimo:
 - o Dos equipos de observación: sensor y antena
 - o Dos radio-modem: transmisor y receptor
 - o Un controlador en la unidad móvil con un software de procesado de datos.
- Estacionamiento del equipo de referencia (sensor, antena y radio-modem transmisor), fijo.
- El radio-modem transmisor transmite sus datos de observación por radio al receptor incorporado en el equipo móvil, que a su vez almacenará en la unidad de control.
- El controlador calcula la posición del móvil en tiempo real.
- En ocasiones la inicialización es muy rápida y con una fiabilidad muy alta, pero conviene comprobar las coordenadas obtenidas sobre un punto conocido para verificar que la inicialización ha sido correcta.



3.1.3 Estación Total

3.1.3.1 Introducción

Para la realización de este proyecto y obtención de coordenadas relativas (X,Y,Z), se ha utilizado una Estación Total Leica TC705 (Ilustración 44) con su correspondiente mini prisma Leica GMP111, trípode de madera Leica GTS20 y trípode de aluminio para estabilizar el mini prisma y así evitar pequeños movimientos a la hora de realizar la medición.



Ilustración 44. Estación Total Leica TC407 con prisma.



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

En la Tabla 6 , se especifican las características técnicas de dicho instrumento:

Tabla 6. Características Técnicas Leica TC705. (Leica Geosystems, s.f.)

ESTACIÓN TOTAL LEICA TC705	
Unidad mínima en pantalla	1'' (0.5 mgon)
Desviación típica	5'' (1.5 mgon)
Método	Absoluto, continuo
Aumento	30x
Campo visual/Distancia enfoque mínima	1° 30' (26m a 1km)/1.7m
Medida de distancia (IR)	Laser infrarrojo
Alcance con prisma circular GPR	3000m (condiciones medias)
Unidad mínima en pantalla	1mm
TIEMPO PARA UNA MEDICIÓN (IR) LASER INFRARROJO	
Modo preciso	2mm + 2ppm / < 1 sec
Modo rápido	5mm + 2ppm / < 0.5 sec
Modo Tracking	5mm + 2 ppm / < 0.15 sec
Punto preciso medición de distancias sin prisma (RL)	Laser rojo visible
ALCANCE(CONDICIONES ATMOSFÉRICAS MEDIAS):	
Punto preciso R100	200m (90% reflexivo)
Punto preciso R300	500m (90% reflexivo)
Tamaño del punto laser a 100 m	12mm x 40mm
Distancia mínima de enfoque	1.5m
TIEMPO PARA UNA MEDICIÓN (RL) LASER ROJO VISIBLE	
Modo normal	3mm + 2ppm / 3s – 6s
Modo Tracking	5mm + 2ppm / 1s
Medida de distancias (RL)	Laser rojo visible
Alcance con prisma circular GPR	1000m – 7500m (condiciones medias)
Alcance del prisma circular GPR	1000m
Precisión (Desviación típica)	<300m: 3mm
SISTEMA	
Memoria interna	<10000 bloques de datos
Intercambio de datos	GS18/GSI16/IDEX/dfx/Formato
Compensador	Central electrónico de dos ejes
Precisión de estabilización	± 4'0.5-1.5''
Desviación de la línea	1.5mm a 1.5m (s2)
Peso (incluida batería y base nivelante)	5.6 kg
Dimensiones con base nivelante	150mm x 207mm x 360mm
Temperatura de trabajo	-20°C a +50°C
Temperatura de almacenamiento	-40°C a +70°C
Humedad	95% (sin condensación)



3.1.3.2 Definición

Una estación total es el equipo básico para la medición “clásica” de un topógrafo o ingeniero agrícola. Es un dispositivo topográfico electro-óptico, con capacidad de almacenamiento de los puntos que se levantarán en el terreno (mide distancia, coordenadas en los tres ejes x, y, z; así como la medida de ángulos horizontales y verticales, en un instrumento de bastante precisión). Antiguamente se medía de forma separada los ángulos con un teodolito, y las distancias con un distanciómetro, y se anotaban en una libreta. Pero ahora, con las estaciones totales, se toman todos los datos juntos y se recolectan en “colectores de datos” digitales para su posterior transvase de las coordenadas a programas CAD.

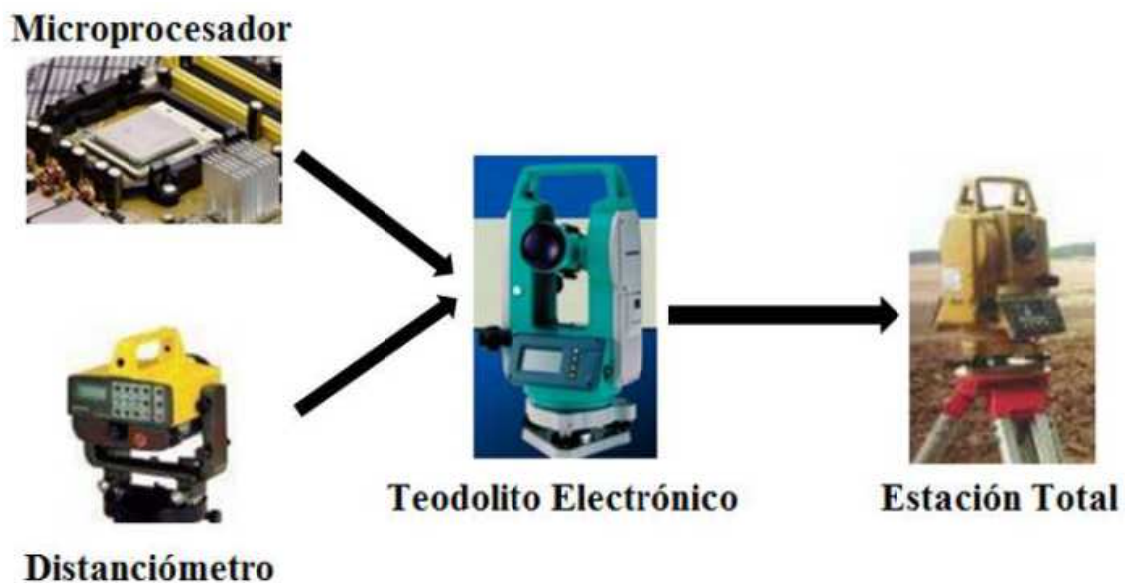


Ilustración 45. Componentes de una Estación Total

3.1.3.3 Características

Algunas de las características que incorpora, y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD), leds de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro y la posibilidad de guardar información en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en computadoras personales. Las estaciones totales en general cuentan con diversos programas sencillos que permite llevar a cabo la mayoría de las tareas topográficas de



manera fácil, rápida y optima, proporcionando el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz, cálculo de rumbos y distancias.

3.1.3.4 Medición con la Estación Total

El instrumento realiza la medición de ángulos a partir de marcas realizadas en discos transparentes. Las lecturas de distancia se realizan mediante una onda electromagnética portadora con distintas frecuencias que rebota en un prisma ubicado en el punto y regresa, tomando el instrumento el desfase entre las ondas. Algunas estaciones totales presentan la capacidad de medir “a sólido”, lo que significa que no es necesario un prisma reflectante.

Este instrumento permite la obtención de coordenadas de puntos respecto a un sistema local o arbitrario, como también a sistemas definidos y materializados. Para la obtención de estas coordenadas el instrumento realiza una serie de lecturas y cálculos sobre ellas y demás datos suministrados por el operador. Las lecturas que se obtienen con este instrumento son las de ángulos verticales, horizontales y distancias. Con todo esto, se puede llegar a determinar la posición y altura de un punto.

3.1.3.5 Obtención de coordenadas

La posición de un punto se determina mediante un par de coordenadas. Las coordenadas polares se determinan mediante una línea y un ángulo, mientras que las coordenadas cartesianas requieren de dos líneas en un sistema ortogonal (Ilustración 46). La estación total mide coordenadas polares, las cuales se pueden convertir a cartesianas bajo un sistema ortogonal determinado, ya sea mediante el propio instrumento o posteriormente en gabinete. La conversión de coordenadas se realiza de la siguiente manera:



Polares → Cartesianas

- Datos conocidos: D, α
- Datos necesarios: x, y
 - $y = D \cdot \sin \alpha$
 - $x = D \cdot \cos \alpha$

- Cartesianas → Polares

- Datos conocidos: x, y
- Datos necesarios: D, α
 - $D = \sqrt{x^2 + y^2}$
 - $\sin \alpha = y/D$
 - $\cos \alpha = x/D$

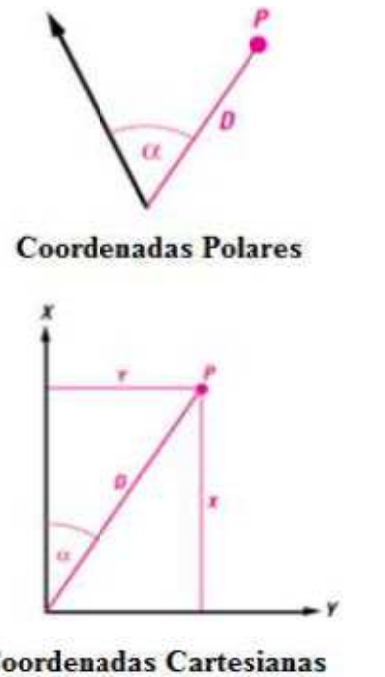


Ilustración 46. Coordenadas Polares y Cartesianas. (Miler & Šoštarić, 2012)

3.1.3.6 Conceptos básicos de la Estación Total

A continuación se procede a explicar de manera abreviada los diferentes conceptos que se tienen en cuenta a la hora de realizar un levantamiento topográfico (Ilustración 47):

- **DGeo (distancia geométrica):** distancia entre el eje de muñones del instrumento y el centro del prisma o punto laser; se visualiza corregida de influencias meteorológicas.
- **DHz (distancia horizontal):** distancia horizontal visualizada, corregida de influencias meteorológicas.
- **DH (diferencia de altura):** diferencia de cota entre la estación y el punto visado.



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

- **ap:** altura del reflector sobre el suelo.
- **ai:** altura del instrumento sobre el suelo.
- **X_0 :** coordenada X de la estación (Este).
- **Y_0 :** coordenada Y de la estación (Norte).
- **Z_0 :** coordenada Z de la estación (Cota).
- **X:** coordenada este del punto visado.
- **Y:** coordenada Norte del punto visado.
- **Z:** cota del punto visado.

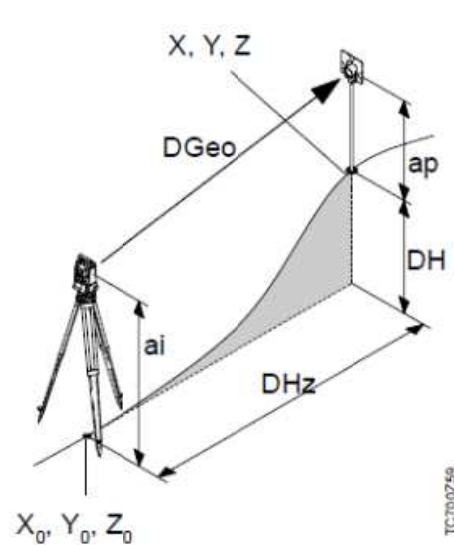


Ilustración 47. Conceptos en la medición con Estación Total. (Leica Geosystems)

A. Trabajo y operaciones en Oficina

- a. Concluidas las operaciones en campo y con base a lo efectuado se realiza lo siguiente:
 - i. Descarga de la información de la estación al ordenador gracias a un software específico para la estación Leica llamado Leica Geo Office (LGO).
 - ii. Realizar un plano o mapa a escala de los puntos y objetos de los detalles levantados en el campo. En este caso se realiza una ficha individual de cada punto.
 - iii. Revisado y verificación de las condiciones del equipo, tanto de funcionamiento, como de limpieza y guardado en el lugar y forma correcta.



LEICA GEO OFFICE

Para realizar el volcado de datos, se necesita tener instalado un programa de volcado de datos. Estos suelen limitarse a la comunicación y transferencia, con poca capacidad de cálculo, controlados por unos parámetros de comunicación que lo único que hacen es facilitar la transferencia de archivos.

Con este programa, los archivos a volcar, salen con un formato propio, aunque todos son archivos de texto, se debe conocer cuál es la extensión propia del fabricante. Así nos debemos familiarizar con la idea de que Leica exporta archivos propios reconocibles por la extensión .GSI que nosotros debemos transformar a otra extensión para poder procesarlos con nuestro ordenador (o no, ya que ciertos programas que utilizaremos para trabajar con los datos leen directamente archivos .GSI) o simplemente poder listarlos e imprimirlos de una forma fácilmente legible, o se puede transformarlos en archivos .TXT (textos de Word) o .XLS (formato de hoja de cálculo Excel).



3.1.3.7 Tipos de Estación Total

Existen diferentes tipos de estación total, las cuales se describen a continuación (Tabla 7):

Tabla 7. Tipos de Estación Total.

TIPO	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
Convencional	Pantalla alfanumérica Requiere prismas reflectantes. La plomada suele ser óptica El distanciómetro es óptico-electrónico	Sensibles a la lluvia. La transmisión de datos se hace por USB, o Bluetooth
Electrónicas	Plomada láser Mejor resistencia al medio ambiente Requiere un solo prisma Medidor electrónico de ángulos	La distancia horizontal, la diferencia de alturas y las coordenadas se calculan automáticamente
Con GPS	El sistema de navegación satelital permite controlar el instrumento desde un lugar independiente	No funcionan en interiores ni debajo de una cobertura de árboles muy densa
Robóticas	Medición sin prisma de hasta 2000 m Registro fotográfico Medición asistida con imagen	Diseño avanzado, liviano y resistente

3.2 Métodos

3.2.1 Trabajos previos a la toma de datos

El proyecto se inició con trabajo de gabinete, donde se identificaron los puntos ya existentes de la Red ETSIA, que se encuentran en la plaza de la biblioteca y se planificó la colocación del resto de puntos alrededor de la ETSIA y parte de la Universidad Pablo de Olavide.

La red microgeodésica creada consta de un total de 38 puntos.



3. Material y métodos

Una vez planificada la situación donde se localizarían los clavos topográficos, se procedió en campo a colocarlos en el lugar indicado. Este trabajo se realizó con la ayuda de un martillo y teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Cada clavo tenía que ser visto desde otros dos clavos para luego poder realizar las medidas correctamente sin tener que coger puntos intermedios.
- La superficie debe ser firme para así evitar que el clavo se mueva durante al menos la toma de datos y si es posible permanezca durante más tiempo para la realización de prácticas de los alumnos de la asignatura Topografía y Geomática.
- Que sea difícil su ocultación por el crecimiento de hierbas o maleza.

Una vez se realizó la colocación de los clavos, estos fueron señalizados con pintura biodegradable (que se puede aplicar sobre elementos naturales o artificiales, ya que se ira degradando de un manera natural no dejando residuos) para hacer más fácil su búsqueda y nombrados con letras de la A hasta la W y con los números 1 al 11 con rotulador indeleble.

A continuación, se procedió a realizar fotos de cada uno de los puntos y anotando ciertos datos de los mismos, como situación o reseñas que nos ayuden a identificarlo posteriormente, para una vez finalizado la toma de datos con los instrumentos, realizar una ficha individual de cada uno de ellos.

El siguiente paso, es la toma de datos de cada uno de los puntos mediante las diferentes técnicas que a continuación se indican:

3.2.2 Nivelación Geométrica u obtención de cotas

Según Aguilera Ureña, M.J. 2001, los errores en altimetría obtenidas con GPS pueden llegar a duplicar el error de planimetría. Sin embargo, si lo que nos interesa son las diferencia de alturas entre puntos medidos, estos errores se pueden reducir e incluso eliminar, considerándose las técnicas GPS como un método preciso para la determinación de alturas.



A pesar de esta afirmación, y con objeto de validar las cotas obtenidas, fijándolas de la forma más precisa posible, se procedió a realizar una nivelación con un nivel electrónico de la Marca Leica, modelo Sprinter 250M. Este nivel permite, entre otras funciones, la grabación de datos de una línea de nivelación por punto medio, el cual ha sido el método elegido para realizar este proyecto. Los datos obtenidos de estas observaciones, se han utilizado para un posterior tratamiento de los mismos y realización de tablas que reflejan los resultados de esta nivelación.

3.2.2.1 Trabajo con el Nivel Electrónico

Para comenzar con el trabajo de campo, se dividieron los puntos de la red en grupos para facilitar el trabajo (anillo). Lo primero que se realiza es la planificación de los puntos que conforman cada anillo a nivelar. En este caso, se divide el trabajo en 3 anillos o nivelaciones diferentes:

- **Anillo 1:** está formado por los puntos que se encuentran en la plaza de la biblioteca, desde el punto A hasta el L.
- **Anillo 2:** está formado por los puntos que se encuentran por la carretera que rodea el campus y parte interna de la Universidad Pablo de Olavide, conteniendo los puntos desde el 1 hasta el 11 y desde la M a la S.
- **Anillo 3:** pequeña nivelación de los puntos R, T, V y W. En esta nivelación se ha tenido que realizar tomando varios puntos intermedios entre R y T debido a la diferencia de cota entre los dos puntos que no permitían realizar la nivelación correctamente. En esta nivelación se tomaron 4 puntos intermedios entre el Punto R y el Punto T.

Cada uno de los anillos fue enlazado con el siguiente mediante un punto en común con ambos.

- **Anillo 1 – Anillo 2:** Punto H
- **Anillo 2 – Anillo 3:** Punto R



3. Material y métodos

Una vez planificado todo el trabajo en gabinete, se procede a trasladar todo el equipo al punto inicial donde queremos comenzar la nivelación. Los elementos necesarios en este caso, son los siguientes:

- Nivel Óptico LEICA SPRINTER 250M (Ilustración 48)
- Trípode de madera
- Libreta de campo: donde se anotan las lecturas realizadas en campo u observaciones necesarias que nos faciliten el trabajo posterior de gabinete
- Trípode de aluminio con pinzas para la sujeción de la mira
- Mira topográfica combi con código de barras y graduación en milímetros de 4 metros. Dicha mira ha sido modificada (Ilustración 49) para facilitar la realización de los trabajos. Esta modificación consiste en la instalación de una placa en la base de la mira con un tornillo fijo terminado en punta, la cual se ajusta perfectamente a la muesca existente en la cabeza de los tornillos usados para los puntos topográficos. Esta modificación permite el giro de la mira sobre un punto de nivelación sin riesgo de que ésta se mueva del mismo, evitando así errores en la medida. Este tornillo se encontraba instalado desde el principio de las mediciones, por lo que no interfiere en el resultado de las mismas.



Ilustración 48. Nivel Electrónico Leica SPRINTER 250M. (Leica Geosystems)



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla



Ilustración 49. Modificación de mira topográfica

El punto elegido para comenzar es el Punto H (19.8700 m), ya que es un punto de cota conocida y obtenida por método de nivelación en otro trabajo fin de grado realizado por el Departamento de Ingeniería Gráfica, por lo que es un punto fiable para comenzar desde aquí (Hernández Gómez, Comprobación de la precisión en la obtención de cotas ortométricas mediante técnicas de nivelación, GNSS y modelos de ondulación del geoide, 2015).

Calibración del Nivel Electrónico

Para evitar errores en las medidas con el nivel electrónico, lo primero que se debe realizar es la calibración del dispositivo corrigiendo así el error de colimación. Esta comprobación se lleva a cabo siguiendo los pasos tal y como se indica en el manual y que a continuación se detallan (Ilustración 50):



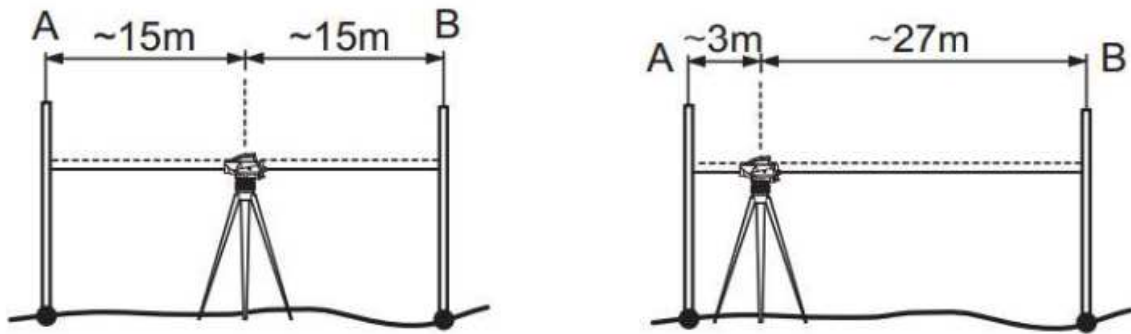


Ilustración 50. Ajuste electrónico del error de colimación. (Leica Geosystems)

Para activar el programa “Ajustes”, ir a Menú\Ajustes.

- **Paso 1:** Colocar el nivel entre las dos miras a una distancia de 15m de cada una aproximadamente con el fin de que entre las miras haya una distancia de 30m.
- **Paso 2:** Apunte hacia la mira A y pulse la tecla MEAS. En la pantalla Medición pulse la tecla ENTER para aceptar.
- **Paso 3:** Apunte hacia la mira B y pulse la tecla MEAS. En la pantalla Medición, pulse la tecla ENTER para aceptar.
- **Paso 4:** Desplace el Sprinter hacia la mira A y estacionelo aproximadamente a una distancia de 3m de la mira A.
- **Paso 5:** Apunte hacia la mira B y pulse la tecla MEAS. En la pantalla Medición, pulse la tecla ENTER para aceptar.
- **Paso 6:** Apunte hacia la mira A y pulse la tecla MEAS. En la pantalla Medición, pulse la tecla ENTER para aceptar.

Se mostrará el nuevo valor del error de colimación. Para aceptar una nueva corrección, pulse la tecla ENTER o bien, pulse la tecla ESC para rechazar el resultado del ajuste.



Método de Nivelación Geométrica

El método que se va a utilizar para realizar este trabajo, como ya se ha comentado anteriormente, se denomina nivelación compuesta (Ilustración 51) o línea de nivelación, por el que se obtiene el desnivel entre dos puntos encadenando el método de nivelación simple de punto medio. Se realiza más de una estación para determinar el desnivel entre los dos puntos. Si los puntos cuyo desnivel quiero hallar están excesivamente separados entre sí, o la diferencia de nivel es mayor que la que puede medirse de una vez, se hace necesario encontrarlo realizando varias determinaciones sucesivas, es decir, efectuando una nivelación compuesta. Cabe destacar, que para obtener un resultado correcto, el punto de partida y final, deben tener una cota conocida, para poder tener un error de cierre, conocer el error cometido y corregirlo en gabinete. En este caso el punto de partida y final coinciden y son el mismo punto, el Punto H, de cota 19.8700 m.

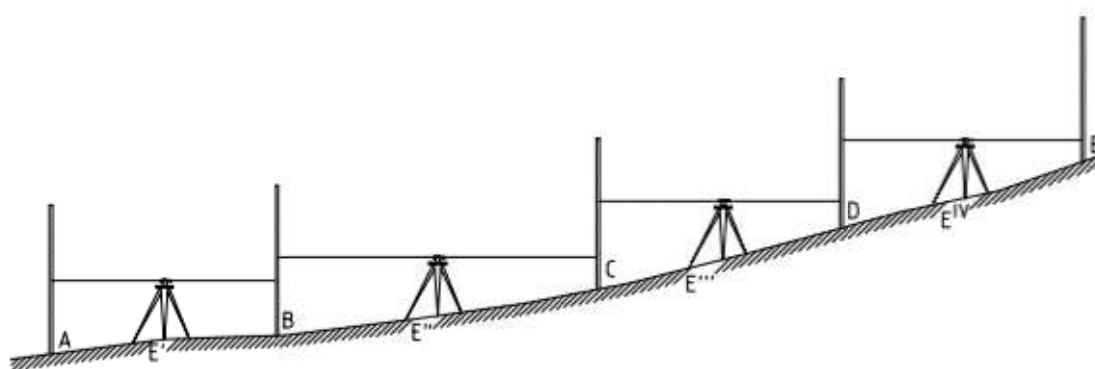


Ilustración 51. Nivelación geométrica compuesta. (Farjas)

Con el objeto de validar las cotas obtenidas con referencia a la REDNAP de la forma más precisa, se empleó un método de nivelación geométrica compuesta basada en el método de observación de punto medio, considerando varios anillos de nivelación que cierran en el mismo punto donde se comienza.

Al realizar una nivelación con anillos cerrados, la tolerancia aceptada para la Red Española de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP) va en función de la distancia recorrida.



$$E_c \leq X \cdot \sqrt{K^2}$$

Donde:

- E_c : error de cierre en milímetros
- k : distancia recorrida en kilómetros
- X : tolerancia aceptada en milímetros, que varía desde un valor de 70 mm, en nivelaciones sencillas, hasta 1 mm que es la tolerancia admitida para REDNAP

Esto significa que no se ha aprobado ningún error de cierre con mayor tolerancia que la admitida,

$$E_c \leq 1 \cdot \sqrt{K^2}$$

es decir, se repitió tantas veces como fue necesaria la observación completa del anillo, en más de una ocasión, hasta obtener valores de desnivel cuya diferencia fuera igual o inferior a esa tolerancia.

A continuación se muestra la tabla (Tabla 8) donde se encuentran los distintos tipos de nivelación con las tolerancias permitidas.

Tabla 8. Tolerancia admitida para cada tipo de nivelación (Pérez Romero)

TIPO DE NIVELACIÓN	TOLERANCIA	ERROR DE CIERRE
Nivelación Sencilla	70 mm	$E_c \leq 70 \cdot \sqrt[2]{K}$
Nivelación Doble	30 mm	$E_c \leq 30 \cdot \sqrt[2]{K}$
Nivelación de Precisión	7 mm	$E_c \leq 7 \cdot \sqrt[2]{K}$
Red Nacional (N.P.)	3 mm	$E_c \leq 3 \cdot \sqrt[2]{K}$
Red Nacional (N.A.P.)	1 mm	$E_c \leq 1 \cdot \sqrt[2]{K}$



Trabajo de campo

A continuación se detallan los pasos a seguir para realizar un trabajo correcto de nivelación. Se comienza explicando los pasos a realizar para un correcto estacionamiento del nivel:

- Lo primero que se debe hacer es estacionar en un punto que se encuentre a igual distancia aproximada de los dos puntos que queremos nivelar. El estacionamiento debe hacerse sobre un terreno firme. Cuando esto no sea posible, porque nos encontremos sobre tierra, debemos asegurarnos de que las patas del trípode estén bien clavadas sobre el terreno.
- El segundo paso es montar el nivel sobre el trípode sujetándolo firmemente con el tornillo de fijación. Los tornillos de la plataforma nivelante deben encontrarse a medio recorrido, para que así resulte más fácil realizar la nivelación final con la ayuda del nivel esférico. Para comprobar que se encuentra correctamente nivelado, se realiza un giro de 180°, y si este ha sido correcto, la burbuja no debe moverse dentro de los límites del nivel.
- El siguiente paso es configurar el nivel, que en este caso es una nivelación de itinerario altimétrico con lecturas Back-Front (Espalda-Frente).

A continuación, se explica el proceso de observación en las líneas de nivelación realizada en el Anillo 1:

Sean A y L aquellos puntos que interesa encontrar su desnivel.

- Se sitúa la mira en el punto de salida A y la segunda mira en B, a una distancia que permita aplicar el método de punto medio. Todos los clavos disponen de una muesca en el centro del mismo, que gracias a la adaptación que se le hizo a la mira, esta encaja perfectamente y evita que se desplace al realizar el giro sobre sí misma. Se efectúan lecturas de frente y espalda, el desnivel vendrá dado por:

$$\Delta H_A^B = L_{Espalda} - L_{Frente}$$

- A continuación la mira en B se gira, sin moverla de su emplazamiento queda mirando hacia C, donde se instala la mira que estaba en A.



3. Material y métodos

- El instrumento se sitúa equidistante a B y C y se efectúan las lecturas como hemos realizado anteriormente.

$$\Delta H_B^C = L_{Espalda} - L_{Frente}$$

- De modo análogo hasta llegar a la estación L que permite obtener el desnivel ΔH_K^L .

Evidentemente, el desnivel entre A y L se obtendrá sumando los desniveles parciales:

$$\Delta H_A^L = \Delta H_A^B + \Delta H_B^C + \Delta H_C^D + \dots + \Delta H_K^L$$

Cada desnivel de la expresión vendrá dado por la lectura a dos miras espalda y frente realizadas en cada estación, ya que:

$$\Delta H_A^B = m_e - m_f$$

$$\Delta H_B^C = m_e - m_f$$

.....

$$\Delta H_K^L = m_e - m_f$$

Valores que si sustituimos en la expresión anterior nos da que:

$$\Delta H_A^L = (m_e - m_f') + (m_e'' - m_f'') + \dots + (m_e^{vi} - m_f^{vi}) = \sum m_e - \sum m_f$$

Por lo tanto, para obtener el desnivel existente entre varios puntos, se debe restar la suma de nivelaciones a espalda de todas las nivelaciones de frente, como bien se indica en la siguiente formula:

$$\sum (\text{vista espalda}) - \sum (\text{vista al frente}) = \text{cota final} - \text{cota inicial}$$



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

En el caso en el que el desnivel entre dos puntos consecutivos sea mayor que lo que podemos llegar a nivelar de una vez, obliga a realizar varias nivelaciones intermedias. Es conveniente materializar sobre el terreno los puntos intermedios, consiguiendo con ello una gran ayuda de comprobación y cálculo de la línea de nivelación.

Una vez realizado todo el trabajo de toma de datos en campo, se deben procesar estos datos en gabinete, cuyo trabajo tiene dos fases:

A) Control de los datos de campo.

El primer trabajo de gabinete consistirá en efectuar el control de los datos de campo, para darlos por válidos y proceder al cálculo de la línea de nivelación correspondiente.

- Control de los desniveles de los anillos:

Las líneas de nivelación sencillas solo tienen comprobación al terminar la nivelación y hallar el error de cierre, si este error es mayor al máximo tolerable, el cual dependerá de la precisión buscada, la nivelación se tiene que repetir.

B) Cálculo de altitudes

A continuación, lo que debemos realizar es el cálculo de las altitudes de cada uno de los puntos que conforman el anillo.

a. LINEA DE NIVELACION CERRADA

Este trabajo se divide en 3 Anillos diferentes (Anillo 1, Anillo 2 y Anillo 3) (Ilustración 52). Dichos anillos están enlazados unos con otros por puntos comunes. Primeramente se comienza con el Anillo 1, en este caso en concreto, el punto inicial y final son el mismo (H), y solo se tiene como dato previo la altitud del punto H.



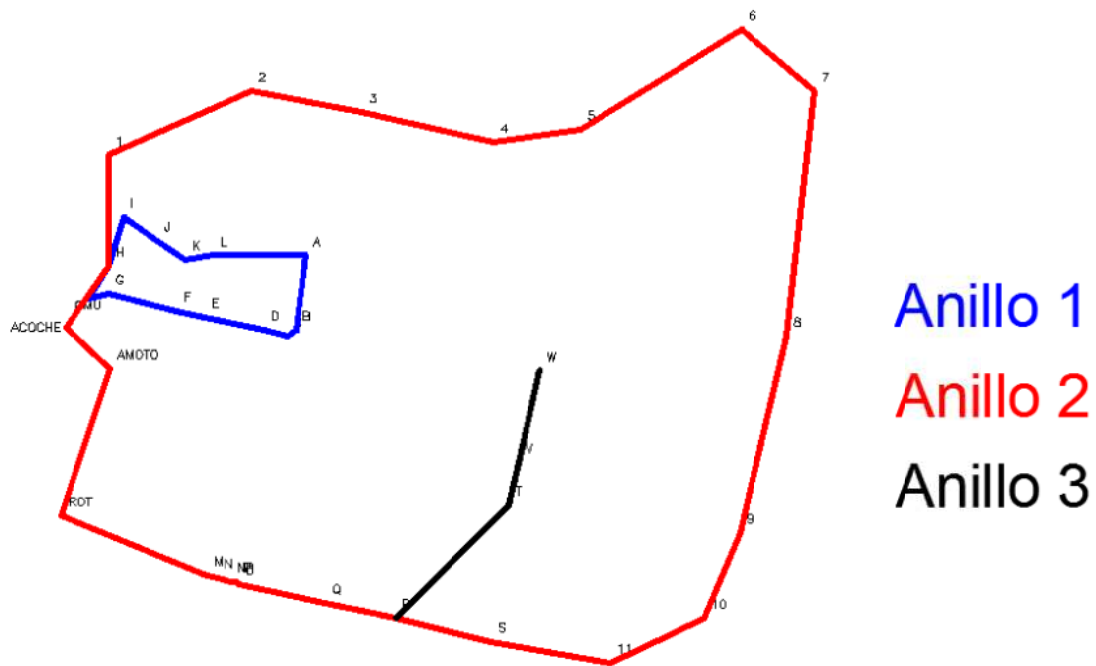


Ilustración 52. Croquis de distribución de los anillos realizados

Partiendo del punto H se desarrolla toda la línea hasta volver al mismo punto:

- Se parte de la altitud de H_H .
- Calcular altitud de la línea mediante los desniveles que existen entre los puntos que la forman (de H hasta H).
- Error de cierre en H.
- Tolerancia.
- Compensación.
- Altitudes compensadas.
- Altitudes solución: promedios de las compensadas.

A continuación, se procede a enlazar este Anillo 1, con el 2 mediante el punto común H. La metodología de toma de datos será la misma que la explicada para el anillo anterior. Esto mismo se realiza con el Anillo 3.



3.2.3 Levantamiento topográfico con Estación Total

3.2.3.1 Consejos prácticos referentes al uso del material

Se deben tener en cuenta una serie de buenas prácticas muy importantes cuando tratamos con material óptico de alta precisión que, aunque está pensado para soportar las más duras condiciones de trabajo al aire libre e intemperie, nunca está de más aplicar en todo momento ciertos cuidados que garanticen su longevidad ofreciendo los mejores resultados en cuanto a precisión y productividad.

Es buena costumbre abrir siempre la caja del aparato una vez esté en posición horizontal y sobre el suelo bien apoyada. Se procura no colocarla por tanto sobre una mesa, silla, piedra o caballete, siendo su mejor posición el suelo. Todo aquello que pueda evitar golpes o caídas accidentales del instrumento en el momento de su extracción será una buena medida preventiva. Una vez fuera de la caja, esta permanecerá en todo momento cerrada a salvo de excesiva radiación solar, la humedad o el polvo ambiental. Pensad en que la buena conservación de la caja y su aislamiento revierte directamente sobre el buen estado del equipo a largo plazo y por tanto en su buena precisión y, porque no decirlo, de la buena salud también de la economía, ya que en este tipo de instrumentos, las reparaciones y los repuestos son bastante caros y pueden llegar a superar, incluso, el precio de coste del propio equipo.

El resto de los periféricos han de ser cuidados de igual manera, de forma delicada y siempre conscientes de que las precisiones que les exigimos a nuestros equipos de topografía incluyen implícitamente que los objetos como son el prisma, el trípode y el jalón se encuentren correctamente conservados, así no se tendrán errores debidos a la falta de precisión de burbujas aplomadoras estropeadas, a jalones sometidos a golpes y roces continuos. Un trípode bien conservado agilizará el ajuste del estacionamiento de manera importante, mucho mejor que un trípode que tenga la plataforma superior de nivelación sucia o rallada. Lo mismo puede decirse del prisma circular, que ha de estar siempre bien protegido de la humedad y libre de gotas de agua o humedades que produzcan empañamientos debidos a la condensación fruto de su almacenamiento en condiciones de humedad y al que se somete después a la acción directa del sol en el inevitable trabajo de



3. Material y métodos

campo al aire libre. El distanciómetro funciona de una manera mucho más rápida sobre un prisma nítido que sobre uno empañado, por tanto las baterías duraran más tiempo con carga utilizable, y por ello serán necesarios menos ciclos de carga y duraran más años en plena capacidad.

Estos aparatos pueden trabajar en condiciones atmosféricas extremas, por lo que cumplen estrictas normas de resistencia al polvo y humedad, lo cual no quiere decir que después de aguantar un día de campo, no requieran unos cuidados mínimos de conservación y mantenimiento. Por ello, nunca se debe dejar que un aparato o sus periféricos se sequen dentro de su caja cerrada, lo que provocaría condensaciones internas, ni tampoco forzar su secado de manera artificial, simplemente basta con eliminar el exceso de agua con un paño suave y dejar secar en posición recostada con la caja abierta y a temperatura ambiente, así se evitaban, molestas manchas por empañamiento de ópticas y displays. Los trípodes de madera han de secarse convenientemente puesto que las maderas de sus patas, aunque sean muy duras y poco porosas, tienden a hincharse e impedir el suave deslizamiento necesario para un estacionamiento correcto y preciso.

3.2.3.2 Descripción o metodología del procedimiento

Las actividades u operaciones necesarias para llevar a cabo el levantamiento topográfico con estación total, se dividen en dos áreas de trabajo:

- **Campo:** efectuadas directamente sobre el terreno, en las cuales se utilizan los instrumentos de medición.
- **Oficina o gabinete:** es el procesamiento de datos adquiridos en el campo.



A. Trabajos y operaciones previos en oficina

Antes de llevarse a cabo el proyecto, se revisan y verifican los instrumentos a utilizar, tomando en consideración las pautas siguientes:

- Las baterías de los dispositivos electrónicos deben estar debidamente cargadas.
- Los aparatos o dispositivos, deben encontrarse en buenas condiciones, y funcionando a nivel óptimo.
- Todos los accesorios complementarios del equipo estén en sus respectivas cajas, buen estado y completos.
- Los bastones que sostienen los prismas, tengan los niveles de aplomado calibrados para que la posición horizontal de dichos prismas coincida en proyección sobre el punto medido.

Con el apoyo de los mapas se ubican los puntos del trabajo a realizar

Se toma la decisión para la selección del método de levantamiento, el personal, los instrumentos, equipos necesarios, la comprobación y corrección de los mismos, la precisión requerida para el levantamiento, el transporte requerido, entre otras medidas.

B. Trabajo y operaciones en campo

El método elegido para realizar este trabajo va a ser un levantamiento con estacionamientos libres. La toma de datos se comenzó en la Plaza de la ETSIA, desde un lugar en el que se veían todos los puntos que se encuentran en dicha plaza y el Punto 1, con el que posteriormente se enlazará para continuar la toma hacia los siguientes puntos. A continuación, se procede a explicar los pasos a seguir para realizar el trabajo de manera correcta:



3. Material y métodos

- a. Se elige adecuadamente un lugar que tenga visibilidad a todos los puntos que se vayan a medir, observando que no haya arboles u obstáculos que impidan ver los puntos correctamente y tener que hacer posteriormente trabajo de más.
- b. En este caso, los puntos elegidos son los ya materializados con anterioridad mediante clavos topográficos, los cuales han sido colocados de manera que cada punto pueda ser visto desde al menos otros dos con la finalidad de hacer un correcto estacionamiento.
- c. El siguiente paso es el estacionamiento del equipo, entendemos como estacionamiento, el correcto posicionamiento del equipo, perfectamente nivelado sobre su trípode. Dicha nivelación está controlada por los correspondientes niveles que posee el aparato.
- d. Lo primero que se debe realizar es estirar el trípode de tal manera que con las patas cerradas todas tengan la misma longitud y que esa longitud o altura sea aproximadamente la parte baja del cuello de la persona que va a realizar la medición (así una vez se ponga la estación se tendrá una altura de observación cómoda sin tener que estirarnos o agacharnos en exceso).
- e. Hecho esto, abrimos las tres patas y aproximamos la vertical del tornillo de fijación de la estación a la vertical de la base, ahora ya podremos proceder a ir a por la estación para ponerla encima. En este punto hemos de asegurarnos bien de que todos los tornillos de las patas están convenientemente apretados para que el peso del equipo no pueda vencer un tornillo flojo que dé como resultado que el equipo se precipite al suelo.
- f. Se comprueba que las garras o uñas del trípode están asentadas en el terreno, para ello, se procede al pisado de los resaltes que posee el trípode a tal efecto, así se evita que el sistema garree y se produzca una caída accidental del aparato.
- g. El siguiente paso es extraer el equipo de su caja. No soltaremos nunca su asa hasta que esté totalmente atornillado al trípode, así también evitaremos cualquier incidente.
- h. Cuando la maquina ya este atornillada, comienza el proceso de nivelado-estacionado. Se trata de, en un mismo movimiento, conseguir posicionar el eje vertical del aparato sobre el punto de estacionado. En los aparatos Leica, esto



está controlado por una plomada laser y se consulta el nivel digital que controla el compensador mientras se juega con las patas buscando la posición correcta. El procedimiento más habitual en esta maniobra consiste en dejar una de las patas bien enclavadas en el suelo, mientras se trasladan las otras dos cogidas con ambas manos a la altura de los tornillos de plegado.

- i. Estando ya próximo a una posición horizontal y con la plomada coincidente con el punto de estacionado, se pisan las tres patas para enclavar las uñas de las mismas definitivamente. Si se ha hecho bien, el siguiente paso es nivelar.
- j. Se procede a nivelar primeramente por las patas con la ayuda del nivel esférico (menos preciso), y posteriormente por los tornillos ayudándonos del nivel tubular (más preciso). Se sujetan con firmeza las mismas mientras se evita un plegado accidental, y así vamos encogiendo o estirando cada pata y controlando, al mismo tiempo, la burbuja, ya sea electrónica o física. Una vez que se haya sido capaz de aproximar la burbuja con las patas lo más posible, solo una pequeña corrección con los tornillos de la base nivelante será necesaria. Se puede dar un último ajuste a la posición de la plomada dando un pequeño afloje al aparato para poder desplazarlo, lateralmente y con mucho cuidado, por la plataforma del trípode, buscando la posición buena de la plomada sobre el clavo.
- k. Una vez el equipo está nivelado y bien situado sobre el punto de base se prosigue con el estacionado (introducción de coordenadas y orientación), como apunte, tener en cuenta que si el equipo no está bien nivelado, el compensador propio del equipo no nos dejará nunca trabajar, no leerá ángulos ni distancias, nunca mostrará lecturas erróneas, a no ser que tengamos la tentación de tener apagado el compensador angular. Esto no ha de hacerse nunca porque de esa manera, ante un movimiento o desplazamiento accidental del equipo, seguiremos midiendo posiciones erróneas sin tener consciencia de ello y eso puede ser una fuente importante de imprecisiones y trabajos con poco rigor técnico, por tanto del todo indeseable en este tipo de trabajos.
- l. Llegado a este punto, ya se encuentra la estación preparada para usar.



3. Material y métodos

El siguiente paso una vez nivelada la estación, es comenzar con la toma de datos. Para ello, seguimos el protocolo de trabajo con la estación total, como se detalla a continuación:

1. Orientar la estación: en este caso realizamos una puesta en estación desorientada en la que fijamos unas coordenadas relativas con respecto al punto de referencia K (1000, 1000, 10). Estas coordenadas serán transformadas a absolutas posteriormente, en gabinete.
2. Para comenzar, crearemos un nuevo trabajo en la estación, donde nos pedirá las coordenadas relativas del punto de partida, que en nuestro caso fueron $X=1000$, $Y=1000$, $Z=10$.
3. Se orienta hacia el primer punto que deseemos medir en el cual se encuentra el compañero con el mini prisma colocado verticalmente gracias a la ayuda del nivel de burbuja que este incorpora. En este trabajo se ha utilizado el mini prisma, debido a que a la hora de realizar la medición, es más fácil mantenerlo estable y vertical durante el proceso, minimizando los errores humanos.
4. A la hora de tomar datos de cada punto, se realizaron 5 medidas por punto. El motivo de realizar 5 tomas por punto es obtener un resultado más exacto, ya que posteriormente se realiza una media de los datos, obteniendo un valor más ajustado y preciso que si se realizara una sola medida, trabajo más arduo y lento, pero a la vez más ajustado.
5. Este proceso de enlazado con el punto del que se proviene se realiza cada vez que se traslade el aparato, el cual habrá que colocar sobre el punto y volver a nivelar como ya hemos explicado en puntos anteriores.



3.2.4 Trabajo con GPS Tiempo Real (RTK) y Postproceso (PSP)

3.2.4.1 Trabajo de campo

El objetivo del trabajo de campo es la obtención de las coordenadas GPS de las bases planificadas en gabinete.

Se realiza un reconocimiento de la zona de trabajo, comprobando el estado de los clavos antiguos y el emplazamiento de los nuevos.

3.2.4.2 Estacionamiento y observaciones

Las técnicas de observación GPS, requieren un mínimo de cuatro satélites y de un GDOP no superior a 8. También ha de decidirse la máscara de elevación, generalmente de 15° por encima del horizonte (Ilustración 53). Ya con las bases y los vértices localizados y reseñados comenzamos la observación.

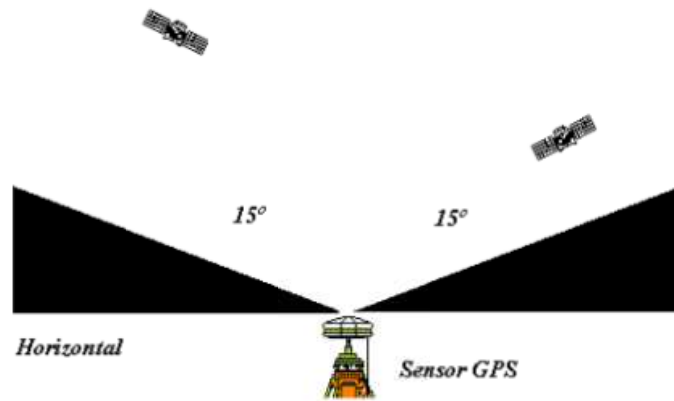


Ilustración 53. Máscara de Elevación. (Peñafiel & Zayas, 2001)

El estacionamiento se va a realizar sobre todos y cada uno de los puntos que componen la RED ETSIA, que en este caso, son 38 con la finalidad de obtener sus coordenadas X e Y, y sus alturas elipsoidales, Z.



3. Material y métodos

Para comenzar, lo primero que se procede es a montar el GPS, instalando el receptor sobre el jalón, procurando que este se encuentre bien enroscado, ya que de lo contrario constituiría una fuente de error. Una vez comprobado que se encuentra correctamente fijado, elevamos el receptor hasta la altura deseada, en este caso, y durante todo el trabajo, la altura de la antena se ha mantenido en 2.00 metros.

Encendemos el receptor y esperamos a que tome los satélites, y a continuación se enciende la colectora y configura para un nuevo trabajo.

Hecho esto, se coloca todo el equipo sobre el punto que se desea obtener sus coordenadas, se calibra y nivela con la ayuda del nivel esférico que lleva el jalón, y fijamos su posición con ayuda del trípode con pinzas. Debido a que todos los puntos se encuentran cercano a la carretera, con el consecuente tránsito de automóviles y las posibles vibraciones que incrementarían el error en la medición. El viento es otro factor a tener en cuenta. Para minimizar las posibles incorrecciones se ha optado por tomar 10 mediciones de cada punto, aumentando la precisión final que se obtendría si solo se realiza una sola. De estas mediciones, se desestiman aquellas que tengan una desviación mayor de 5 mm en altura respecto de la media. La coordenada definitiva es el promedio de todas las coordenadas válidas.

Estos pasos de nivelación y toma de datos se repetirán en cada uno de los puntos a medir, observando siempre que nos encontramos en el rango de precisión admitida.

Una vez que se han tomado los datos de todos los puntos, se descargan en el ordenador con el programa Leica Geo Office (LGO), para obtener los valores de las coordenadas y poder operar con ellos, procediendo a su posterior análisis.

El empleo de correcciones diferenciales hace que la influencia de los errores debido a las distancia entre la estación base y la móvil se minimicen. Estos errores, como ya se han explicado anteriormente se deben a:



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

- Reloj del satélite
- Efemérides
- Propagación de la señal en la atmosfera
- Efecto multipath o multicamino

El principal problema de los equipos GPS/GNSS trabajando en modo RTK con correcciones GPRS vía INTERNET es la cobertura de datos para recibir correcciones diferenciales de las antenas de referencia permanentes. Siempre y cuando se trabaje en entornos urbanos, no suele haber problemas, pero debajo de un árbol o junto a un edificio elevado, se limita la llegada de la señal de los satélites, ya que el árbol o el edificio hacen de barrera entre la antena y los satélites, y la señal que llega al receptor es una señal errónea, ya que llega rebotada, dando unas coordenadas que no son reales, ocasionando errores que pueden llegar a ser no admisibles según el tipo de trabajo que se desee. Para minimizar este problema, se ha intentado medir puntos que tuvieran el horizonte despejado, no obstante, ciertos puntos como son el Punto F y el Punto AMOTO (de Aparcamiento MOTOcicletas), han dado ciertos problemas, ya que F está debajo de un árbol, el cual limita la llegada de señal, y AMOTO está muy cercano al edificio de la ETSIA. Estos puntos se analizarán con detalle en el apartado de resultados y conclusiones.

Todo proceso de medida tiene un margen de error. La precisión de los equipos GPS/GNSS utilizados para la toma de coordenadas en tiempo real ha ido aumentando gracias a la tecnología, hasta alcanzar niveles de precisión que eran inimaginables hasta hace unos años. El RTK se está convirtiendo en el método de levantamiento GPS de alta precisión más común y utilizado.



3.2.4.3 El Levantamiento

Para la obtención del levantamiento de detalle, la metodología de observación con GPS en tiempo real es un método rápido, cómodo y capaz de obtener la precisión requerida para un gran número de trabajos.

Como ya se ha descrito anteriormente, para este método de trabajo se precisan un mínimo de dos receptores:

- GPS fijo de referencia: es el receptor que encontramos en la cubierta de la ETSIA (Ilustración 54).
- GPS en movimiento o *Rover*: es el receptor con el que tomamos los datos de cada punto en campo.

Contando con único equipo de referencia se puede trabajar con un elevado número de “Rover”.



Ilustración 54. Situación antena receptora Base ETSIA



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

Base ETSIA

La estación es fija y propiedad de la empresa TOPCON que la tiene cedida al Departamento de Ingeniería Gráfica en la ETSIA. Su antena receptora (Ilustración 55) está situada en la cubierta del edificio y el equipo receptor se encuentra en el mismo departamento, en la segunda planta de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica de Sevilla. Su mantenimiento lo lleva a cabo el Departamento y es una base GNSS cuyas coordenadas se refieren a EPSG 25830 (ETRS89/UTM zona 30N) y son:

- X: 239695.355
- Y: 4138037.418
- Altura ortométrica: 34.813 m



Ilustración 55. Antena receptora Base ETSIA

La estación está compuesta por un equipo receptor GNSS: NET-G3A de TOPCON (Ilustración 56). Los datos son descargados en formato RINEX. También emite correcciones por radio y correcciones vía internet, por el protocolo NTRIP.



Ilustración 56. Equipo Receptor Base ETSIA



4 Resultados y discusión



Una vez finalizado los trabajos en campo y el posterior tratamiento en gabinete de los datos tomados con cada uno de los instrumentos utilizados, se procede al análisis e interpretación de los mismos con la finalidad de obtener una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas de campo de las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de la Universidad de Sevilla, lo que constituye el objetivo prioritario del presente trabajo.

Como punto de referencia se cuenta con el clavo H, el cual ha sido objeto de estudio de proyectos anteriores, en el que se obtuvo su cota ortométrica y diferencia con cota elipsoidal.

4.1 Datos Nivel Electrónico Leica Sprinter 250M

Como se ha comentado anteriormente, el punto de referencia en torno al cual se han calculado los desniveles y las cotas de cada punto, es el Punto H.

La cota de este punto fue el resultado final del Trabajo Fin de Grado titulado “Comprobación de la precisión en la obtención de cotas ortométricas mediante técnicas de nivelación, GNSS y modelos de ondulación del geoide” (Hernández Gómez, Comprobación de la precisión en la obtencion de cotas ortométricas mediante técnicas de nivelación, GNSS y modelos de ondulación del geoide, 2015).

Los datos obtenidos una vez se han trabajado en gabinete son los que se exponen en la Tabla 9. Para el ajuste de los datos se ha tenido en cuenta un trabajo con la finalidad para Red Nacional de Alta Precisión (NAP), con $K = 1$.

$$Red Nacional (N.A.P.) \rightarrow E_c \leq 1 \text{ mm} \cdot \sqrt{Distancia (km)}$$

Estos datos de nivelación son los que se tomarán como referencia para la coordenada Z de los puntos, y con el que se compararán posteriormente el resto de los métodos para ver su precisión.

El motivo de elección de este método como de referencia es la precisión que se puede obtener con dicho instrumento, muy superior a la que se puede obtener con el resto



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

de aparatos topográficos utilizados, ya que se puede llegar a las décimas de milímetro, como ya se ha comentado en el apartado de material y métodos.

Tabla 9. Datos Nivel Leica Sprinter 250M

PUNTO	COTA (m)
1	17,5733
2	16,7627
3	17,0896
4	17,1232
5	16,8363
6	16,2757
7	17,7339
8	20,8192
9	22,9295
10	22,1365
11	21,0851
A	21,4889
ACOCHE	18,5839
AMOTO	18,7327
B	21,5289
C	21,4614
D	21,2654
E	20,8562
F	20,6486
G	19,8088
GMU	18,6573
H	19,8700
I	19,8556
J	20,5558
K	20,8177
L	20,9533
M	19,1761
N	19,2327
NP	19,2300
O	19,2227
P	19,2421
Q	19,2888
R	19,3033
ROT	18,6076
S	19,8517
T	23,7357
V	24,0096
W	24,3396



4.2 Datos Estación Total Leica TC 407

Los datos obtenidos con Estación Total (Tabla 10) tienen coordenadas relativas, que luego serán transformadas en absolutas para poder ser comparadas con las coordenadas tomadas con GNSS en ambos métodos.

La coordenada Z de la Estación Total que aparece en la tabla ya se encuentra ajustada a las cotas ortométricas reales.

El ajuste de la coordenada Z se ha llevado a cabo comparando la cota del punto H resultado de la nivelación electrónica con la cota obtenida de la estación total. Una vez comprobada la diferencia entre ambos puntos, se le aplica a la coordenada Z de la estación total, transformándolas de relativas a absolutas.

Hecho esto, las cotas obtenidas con la estación total ya son comparables a las obtenidas por los diferentes métodos utilizados.



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

Tabla 10. Datos Estación Total Leica TC407

PUNTOS	COORDENADAS RELATIVAS (m)		
	X	Y	Z
1	1045,299	1040,594	17,576
2	1118,034	1032,068	16,767
3	1157,654	997,558	17,090
4	1203,999	954,698	17,126
5	1242,723	938,995	16,839
6	1331,362	941,273	16,275
7	1346,976	899,431	17,741
8	1277,410	806,525	20,819
9	1212,197	737,556	22,930
10	1177,360	711,605	22,135
11	1128,446	716,247	21,083
A	1101,515	952,701	21,493
ACOCHE	995,001	953,663	18,733
AMOTO	986,692	981,209	18,584
B	1080,079	925,462	21,533
C	1074,700	924,640	21,465
D	1066,320	932,656	21,268
E	1045,013	952,162	20,861
F	1035,635	961,062	20,656
G	1012,573	984,273	19,810
GMU	1003,079	987,440	18,656
H	1018,319	995,889	19,870
I	1036,447	1011,682	19,860
J	1044,202	994,498	20,558
K	1051,307	980,024	20,820
L	1063,183	974,956	20,956
M	985,497	846,747	19,178
N	988,847	843,666	19,233
NP	993,159	839,443	19,231
O*	---	---	---
P	995,884	838,013	19,242
Q	1027,385	808,315	19,289
R	1051,808	785,099	19,304
ROT	940,541	906,093	18,607
S	1085,794	752,914	19,851
T	1124,577	804,156	23,734
V	1138,551	818,902	24,007
W	1168,851	851,055	24,343

*: No se ha tomado el punto ya que durante la toma de datos ha habido obras en la zona y ha sido eliminado.



4.3 Datos GNSS obtenido con equipo Leica 1200

4.3.1 Postproceso (PSP)

Estos datos que a continuación se muestran en la Tabla 11 son los que se han obtenido con la medición GNSS en Postproceso (PSP).

Para la realización de este trabajo en campo, se efectuó una toma de datos GNSS durante 5 minutos en cada punto. Posteriormente, en gabinete, estos datos fueron descargados de la colectora al ordenador y fueron procesados mediante el programa informático Leica GeOffice (LGO).

Las coordenadas planimétricas (X e Y) están representadas en EPSG-25830 (Proyección UTM Huso 30 con Datum ETRS89) y las cotas ortométricas están calculadas a partir de las elipsoidales obtenidas por el sistema GNSS y el modelo de ondulación del Geoide EGM2008 REDNAP.



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

Tabla 11. Datos GNSS Leica 1200 en método Postproceso (PSP)

PUNTOS	COORDENADAS ABSOLUTAS Y COTA ORTOMÉTRICA (m)		
	X	Y	Z
1	239698,831	4138192,681	17,657
2	239765,981	4138222,021	16,850
3	239817,602	4138212,179	17,157
4	239879,261	4138198,534	17,191
5	239920,646	4138204,495	16,914
6	239996,070	4138251,181	16,361
7	240030,662	4138222,913	17,812
8	240017,440	4138107,550	20,895
9	239995,888	4138015,059	23,005
10	239978,887	4137975,071	22,206
11	239934,282	4137954,412	21,156
A	239791,729	4138145,123	21,585
ACOCHE	239678,155	4138111,808	18,650
AMOTO	239699,233	4138092,204	18,793
B	239786,964	4138110,773	21,607
C	239782,736	4138107,343	21,535
D	239771,449	4138110,040	21,340
E	239743,197	4138116,150	20,937
F	239730,578	4138119,098	20,755
G	239698,965	4138127,518	19,887
GMU	239689,165	4138125,464	18,736
H	239698,069	4138140,444	19,954
I	239705,761	4138163,246	19,931
J	239721,132	4138152,308	20,632
K	239734,578	4138143,387	20,896
L	239747,387	4138145,003	21,033
M	239744,962	4137995,035	19,259
N	239749,398	4137994,067	19,299
NP	239755,262	4137992,595	19,290
O	239759,890	4137991,550	19,300
P	239758,328	4137992,740	19,321
Q	239800,530	4137982,970	19,368
R	239833,338	4137975,224	19,379
ROT	239676,178	4138023,635	18,691
S	239878,942	4137964,568	19,923
T	239886,602	4138028,396	23,814
V	239891,237	4138048,184	24,089
W	239901,198	4138091,248	24,417



4.3.2 RTK (Tiempo Real)

Por último, y no por ello menos importante se procede a mostrar los datos obtenidos con la medición GNSS en Tiempo Real (RTK) (Tabla 12).

La toma de datos de este método se llevó a cabo realizando 5 mediciones en cada punto, de las cuales se descartaron aquellas en las que el error en cota sobrepasaran los 5 mm con respecto al valor más probable, que es la media. Una vez hecho esto, el software del GNSS realiza un promedio de las mediciones válidas obteniéndose el resultado que se muestra a continuación.



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

Tabla 12. Datos GNSS Leica 1200 en método tiempo real (RTK)

PUNTOS	COORDENADAS ABSOLUTAS Y COTA ORTOMÉTRICA (m)		
	X	Y	Z
1	239698,836	4138192,682	17,707
2	239765,967	4138222,029	16,892
3	239817,604	4138212,181	17,219
4	239879,263	4138198,527	17,254
5	239920,642	4138204,486	16,972
6	239996,068	4138251,177	16,404
7	240030,667	4138222,912	17,855
8	240017,440	4138107,549	20,945
9	239995,892	4138015,067	23,050
10	239978,892	4137975,075	22,257
11	239934,289	4137954,408	21,208
A	239791,739	4138145,120	21,609
ACOCHE	239678,160	4138111,808	18,701
AMOTO	239699,238	4138092,206	18,858
B*	---	---	---
C	239782,734	4138107,348	21,600
D	239771,452	4138110,046	21,398
E	239743,215	4138116,145	21,014
F	239730,576	4138119,156	20,816
G	239698,974	4138127,505	19,929
GMU	239689,161	4138125,458	18,791
H	239698,076	4138140,448	19,991
I	239705,763	4138163,242	19,974
J	239721,140	4138152,306	20,681
K	239734,580	4138143,396	20,933
L	239747,394	4138145,011	21,072
M	239744,969	4137995,041	19,287
N	239749,412	4137994,070	19,350
NP	239755,260	4137992,599	19,341
O	239759,898	4137991,554	19,350
P	239758,339	4137992,736	19,364
Q	239800,538	4137982,973	19,401
R	239833,349	4137975,229	19,412
ROT	239676,189	4138023,640	18,726
S	239878,947	4137964,566	19,970
T	239886,611	4138028,397	23,847
V	239891,251	4138048,179	24,133
W	239901,212	4138091,245	24,448



4.3.3 Comparativa de datos GNSS en Postproceso y Tiempo Real

En este apartado, se expondrán las diferencias que existen entre los dos métodos utilizados en la toma de datos con GNSS, Postproceso y Tiempo Real. Esto puede servir para ayudar a elegir un método u otro dependiendo de la precisión del trabajo que se deba realizar y del tiempo disponible para llevar a cabo la ejecución del mismo.

De los datos expuestos en la Tabla 13, se pueden extraer las diferencias máximas que se aprecian entre los diferentes métodos:

- Planimetría = 0.006 metros = 6 milímetros en X e Y.
- Altimetría = 0.047 metros = 47 milímetros en Z.

Las diferencias son mayores en altimetría que en planimetría.

Según los datos obtenidos y sus comprobaciones, el método de Postproceso (PSP) es más preciso que el de Tiempo Real (RTK), aunque más laborioso, tanto en campo como en gabinete, ya que precisa de estacionar 5 minutos en cada punto y posteriormente un pequeño procesado de los datos en gabinete, lo que conlleva un aumento del tiempo necesario para la obtención de las coordenadas de todo el trabajo, mientras que el método RTK, es más rápido en campo, ya que en un minuto se puede tomar cada punto y luego los datos son extraídos directamente desde la colectora.



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

Tabla 13. Comparativa datos GNSS-PSP y GNSS-RTK

PUNTO	COORDENADA X			COORDENADA Y			COORDENADA Z		
	RTK	PSP	Δ	RTK	PSP	Δ	RTK	PSP	Δ
1	239698,836	239698,831	0,005	4138192,682	4138192,681	0,001	17,707	17,657	0,050
2	239765,967	239765,981	0,014	4138222,029	4138222,021	0,008	16,892	16,850	0,042
3	239817,604	239817,602	0,002	4138212,181	4138212,179	0,002	17,219	17,157	0,062
4	239879,263	239879,261	0,002	4138198,527	4138198,534	0,007	17,254	17,191	0,063
5	239920,642	239920,646	0,004	4138204,486	4138204,495	0,009	16,972	16,914	0,058
6	239996,068	239996,070	0,002	4138251,177	4138251,181	0,004	16,404	16,361	0,043
7	240030,667	240030,662	0,005	4138222,912	4138222,913	0,001	17,855	17,812	0,043
8	240017,440	240017,440	0,000	4138107,549	4138107,550	0,001	20,945	20,895	0,050
9	239995,892	239995,888	0,004	4138015,067	4138015,059	0,008	23,050	23,005	0,045
10	239978,892	239978,887	0,005	4137975,075	4137975,071	0,004	22,257	22,206	0,051
11	239934,289	239934,282	0,007	4137954,408	4137954,412	0,004	21,208	21,156	0,052
A	239791,739	239791,729	0,010	4138145,120	4138145,123	0,003	21,609	21,585	0,024
ACOCHE	239678,160	239678,155	0,005	4138111,808	4138111,808	0,000	18,701	18,650	0,051
AMOTO	239699,238	239699,233	0,005	4138092,206	4138092,204	0,002	18,858	18,793	0,065
C	239782,734	239782,736	0,002	4138107,348	4138107,343	0,005	21,600	21,535	0,065
D	239771,452	239771,449	0,003	4138110,046	4138110,040	0,006	21,398	21,340	0,058
E	239743,215	239743,197	0,018	4138116,145	4138116,150	0,005	21,014	20,937	0,077
F	239730,576	239730,578	0,002	4138119,156	4138119,098	0,058	20,816	20,755	0,061
G	239698,974	239698,965	0,009	4138127,505	4138127,518	0,013	19,929	19,887	0,042
GMU	239689,161	239689,165	0,004	4138125,458	4138125,464	0,006	18,791	18,736	0,055
H	239698,076	239698,069	0,007	4138140,448	4138140,444	0,004	19,991	19,954	0,037
I	239705,763	239705,761	0,002	4138163,242	4138163,246	0,004	19,974	19,931	0,043
J	239721,140	239721,132	0,008	4138152,306	4138152,308	0,002	20,681	20,632	0,049
K	239734,580	239734,578	0,002	4138143,396	4138143,387	0,009	20,933	20,896	0,037
L	239747,394	239747,387	0,007	4138145,011	4138145,003	0,008	21,072	21,033	0,039
M	239744,969	239744,962	0,007	4137995,041	4137995,035	0,006	19,287	19,259	0,028
N	239749,412	239749,398	0,014	4137994,070	4137994,067	0,003	19,350	19,299	0,051
NP	239755,260	239755,262	0,002	4137992,599	4137992,595	0,004	19,341	19,290	0,051
O	239759,898	239759,890	0,008	4137991,554	4137991,550	0,004	19,350	19,300	0,050
P	239758,339	239758,328	0,011	4137992,736	4137992,740	0,004	19,364	19,321	0,043
Q	239800,538	239800,530	0,008	4137982,973	4137982,970	0,003	19,401	19,368	0,033
R	239833,349	239833,338	0,011	4137975,229	4137975,224	0,005	19,412	19,379	0,033
ROT	239676,189	239676,178	0,011	4138023,640	4138023,635	0,005	18,726	18,691	0,035
S	239878,947	239878,942	0,005	4137964,566	4137964,568	0,002	19,970	19,923	0,047
T	239886,611	239886,602	0,009	4138028,397	4138028,396	0,001	23,847	23,814	0,033
V	239891,251	239891,237	0,014	4138048,179	4138048,184	0,005	24,133	24,089	0,044
W	239901,212	239901,198	0,014	4138091,245	4138091,248	0,003	24,448	24,417	0,031
MEDIA			0,005			0,002			0,047



4.4 Comparativa de cotas obtenidas con Nivel Electrónico y Estación Total

Las cotas que se obtuvieron con el nivel son cotas ortométricas, ya que se partió de un punto de cota conocida, el clavo de referencia H (19,8700) y a raíz del mismo, mediante los desniveles entre ellos, obteniéndose las cotas del resto de puntos.

El trabajo con la estación total genera cotas relativas, ya que se parte de un punto de coordenadas desconocidas a las que se les asignan unas coordenadas de (1000, 1000, 100).

Para poder realizar la comparación de las cotas obtenidas con estos dos métodos, primero deben de encontrarse en un mismo plano de referencia. Las cotas que nos encontramos ahora mismo son ortométricas (Nivel Electrónico) y relativas (Estación Total), por lo que estas últimas deben de ser transformadas. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Igualar los planos en los que se encuentran las cotas de cada método. Para ello, tomamos el clavo H como referencia y vemos la diferencia que hay de cota en este punto en los dos métodos.
 - o Nivel Electrónico: 19,8700 m
 - o Estación Total: 99,802 m
 - o Diferencia: -79,932 m
- Esta diferencia de 79,932 m es la distancia a la que se encuentran ambos planos, lo que quiere decir, que los datos obtenidos con la Estación Total se encuentran 79,392 m por encima de los obtenidos por nivelación.
- Este valor de diferencia entre ambos métodos es el que debemos restar a todas las coordenadas Z de la Estación Total para conseguir obtener cotas ortométricas y poder compararlas con el otro método.

Una vez realizado esto, se obtienen los datos que se exponen a continuación en la Tabla 14.

Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

Una vez se ha realizado dicho trabajo se aprecian las diferencias de cota que existen entre ambos métodos, que se encuentran en torno a:

- Diferencia media: $0,001 \text{ m} = 1 \text{ mm}$
- Diferencia máxima: $0,007 \text{ m} = 7 \text{ mm}$

Como se puede apreciar son valores bastante buenos, todos por debajo del centímetro, los que se pueden llegar a obtener con la estación total siempre y cuando se realice un trabajo de calidad y llevando un protocolo de actuación correcto.

La elección de un método u otro dependerá del tipo de trabajo que se vaya a realizar y la precisión requerida por el mismo.



4. Resultados y discusión

Tabla 14. Comparación Nivel Electrónico y Estación Total

PUNTO	COTA (m)		
	NIVEL ELECTRÓNICO	ESTACIÓN TOTAL	Δ
1	17,5733	17,576	-0,003
2	16,7627	16,767	-0,004
3	17,0896	17,090	0,000
4	17,1232	17,126	-0,002
5	16,8363	16,839	-0,002
6	16,2757	16,275	0,001
7	17,7339	17,741	-0,007
8	20,8192	20,819	0,000
9	22,9295	22,930	0,000
10	22,1365	22,135	0,002
11	21,0851	21,083	0,002
A	21,4889	21,493	-0,004
ACOCHE	18,5839	18,584	0,000
AMOTO	18,7327	18,733	0,000
B	21,5289	21,533	-0,004
C	21,4614	21,465	-0,004
D	21,2654	21,268	-0,003
E	20,8562	20,861	-0,005
F	20,6486	20,656	-0,007
G	19,8088	19,810	-0,001
GMU	18,6573	18,656	0,001
H	19,8700	19,870	0,000
I	19,8556	19,860	-0,004
J	20,5558	20,558	-0,002
K	20,8177	20,820	-0,002
L	20,9533	20,956	-0,003
M	19,1761	19,178	-0,002
N	19,2327	19,233	0,000
NP	19,2300	19,231	-0,001
O	19,2227	---	---
P	19,2421	19,242	0,000
Q	19,2888	19,289	0,000
R	19,3033	19,304	-0,001
ROT	18,6076	18,607	0,001
S	19,8517	19,851	0,001
T	23,7357	23,734	0,002
V	24,0096	24,007	0,003
W	24,3396	24,343	-0,003
MEDIA			-0,001



4.5 Comparativa de datos obtenidos con Nivel Electrónico y GNSS

4.5.1 Nivel Electrónico y GNSS Postproceso (PSP)

En este apartado, se realiza una comparativa entre las cotas obtenidas mediante el Nivel Electrónico y las facilitadas por el GNSS en modo Postproceso (Tabla 15).

Como se puede apreciar, estas variaciones son mucho mayores que en los métodos comparados anteriormente, ya que el GNSS es menos preciso en altimetría.

Las cotas obtenidas con el GNSS son elipsoidales y como se puede observar, en todos los puntos son siempre superiores a las obtenidas por la nivelación electrónica, lo que ocasiona que las variaciones sean siempre negativas. La causa de esta variación radica en que el modelo de ondulación del geoide actual, está más alto de lo que realmente le corresponde al lugar.

Con estos datos y los obtenidos de otros proyectos realizados por el departamento, en el que (Hernández Gómez, Comprobación de la precisión en la obtención de cotas ortométricas mediante técnicas de nivelación, GNSS y modelos de ondulación del geoide, 2015) se afirma que los datos obtenidos por el GNSS se encuentran dentro del error admisible por el equipo para coordenadas verticales, pero que al compararlo con las cotas ortométricas obtenidas por Nivelación de Alta Precisión, se puede llegar a encontrar una variación de hasta 8,10 cm, aunque en este caso, la variación máxima obtenida ha llegado a un valor de 10,60 cm en el Punto F, aunque es un error justificable, ya que como se ha comentado anteriormente, dicho punto se encuentra bajo un árbol de considerables dimensiones.



4. Resultados y discusión

Tabla 15. Comparativa datos Nivel Electrónico y GNSS PSP

PUNTO	COTA (m)		
	NIVEL ELECTRÓNICO	GNSS PSP	Δ
1	17,5733	17,657	-0,084
2	16,7627	16,850	-0,087
3	17,0896	17,157	-0,067
4	17,1232	17,191	-0,068
5	16,8363	16,914	-0,078
6	16,2757	16,361	-0,085
7	17,7339	17,812	-0,078
8	20,8192	20,895	-0,076
9	22,9295	23,005	-0,075
10	22,1365	22,206	-0,069
11	21,0851	21,156	-0,071
A	21,4889	21,585	-0,096
ACOCHE	18,5839	18,650	-0,066
AMOTO	18,7327	18,793	-0,060
B	21,5289	21,607	-0,078
C	21,4614	21,535	-0,074
D	21,2654	21,340	-0,075
E	20,8562	20,937	-0,081
F	20,6486	20,755	-0,106
G	19,8088	19,887	-0,078
GMU	18,6573	18,736	-0,079
H	19,8700	19,954	-0,084
I	19,8556	19,931	-0,075
J	20,5558	20,632	-0,076
K	20,8177	20,896	-0,078
L	20,9533	21,033	-0,080
M	19,1761	19,259	-0,083
N	19,2327	19,299	-0,066
NP	19,2300	19,290	-0,060
O	19,2227	19,300	-0,077
P	19,2421	19,321	-0,079
Q	19,2888	19,368	-0,079
R	19,3033	19,379	-0,076
ROT	18,6076	18,691	-0,083
S	19,8517	19,923	-0,071
T	23,7357	23,814	-0,078
V	24,0096	24,089	-0,079
W	24,3396	24,417	-0,077
MEDIA	---	---	-0,077



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

Con estos datos, se pueden ajustar aún más los valores teniendo en cuenta que en la zona de estudio, el modelo de ondulación del geoide contempla unas diferencias de 8,10 cm. Dados estos datos, procedemos a realizar una última comparativa más rigurosa de estos dos métodos mencionados anteriormente (Tabla 16).

Como se puede apreciar, al realizar este ajuste, la variación de ambos métodos se reduce hasta tal punto que los valores de diferencia se encuentran en torno a:

- Diferencia media: $0,004 \text{ m} = 4 \text{ mm}$
- Diferencia máxima: $0.025 \text{ m} = 25 \text{ mm}$

El error máximo se corresponde con el Punto F, donde su situación es la más desfavorable debido a la situación en la que se encuentra, como ya se ha comentado anteriormente, en el que la frondosidad del mismo afecta de manera negativa a la señal que recibe el GNSS, devolviendo unos valores menos precisos que si estuviese a cielo abierto como se puede observar en el resto de puntos.



4. Resultados y discusión

Tabla 16. Comparativa datos Nivel Electrónico y GNSS-PSP (teniendo en cuenta Modelo de Ondulación del Geoide)

PUNTO	COTA (m)		
	NIVEL ELECTRÓNICO	GNSS PSP	Δ
1	17,5733	17,657	-0,003
2	16,7627	16,850	-0,006
3	17,0896	17,157	0,014
4	17,1232	17,191	0,013
5	16,8363	16,914	0,003
6	16,2757	16,361	-0,004
7	17,7339	17,812	0,003
8	20,8192	20,895	0,005
9	22,9295	23,005	0,006
10	22,1365	22,206	0,012
11	21,0851	21,156	0,010
A	21,4889	21,585	-0,015
ACOCHE	18,5839	18,650	0,015
AMOTO	18,7327	18,793	0,021
B	21,5289	21,607	0,003
C	21,4614	21,535	0,007
D	21,2654	21,340	0,006
E	20,8562	20,937	0,000
F	20,6486	20,755	-0,025
G	19,8088	19,887	0,003
GMU	18,6573	18,736	0,002
H	19,8700	19,954	-0,003
I	19,8556	19,931	0,006
J	20,5558	20,632	0,005
K	20,8177	20,896	0,003
L	20,9533	21,033	0,001
M	19,1761	19,259	-0,002
N	19,2327	19,299	0,015
NP	19,2300	19,290	0,021
O	19,2227	19,300	0,004
P	19,2421	19,321	0,002
Q	19,2888	19,368	0,002
R	19,3033	19,379	0,005
ROT	18,6076	18,691	-0,002
S	19,8517	19,923	0,010
T	23,7357	23,814	0,003
V	24,0096	24,089	0,002
W	24,3396	24,417	0,004
MEDIA	---	---	0,004



4.5.2 Nivel Electrónico y GNSS en Tiempo Real (RTK)

En este último apartado, se realiza la comparativa de los datos obtenidos mediante nivelación Electrónica y GNSS RTK.

El método RTK como ya se ha comentado en su apartado de material y métodos, es una forma de trabajar mucho más rápida que en PSP (Postproceso), con el inconveniente de que los errores altimétricos son algo mayores.

La primera tabla de esta comparativa (Tabla 17), se realizará con los datos obtenidos directamente sin tener en cuenta la ondulación del geoide en la zona como se ha visto en el apartado anterior.



4. Resultados y discusión

Tabla 17. Comparativa datos Nivel Electrónico y GPS RTK

PUNTO	COTA (m)		
	NIVEL ELECTRÓNICO	GPS RTK	Δ
1	17,5733	17,707	-0,134
2	16,7627	16,892	-0,129
3	17,0896	17,219	-0,129
4	17,1232	17,254	-0,131
5	16,8363	16,972	-0,136
6	16,2757	16,404	-0,128
7	17,7339	17,855	-0,121
8	20,8192	20,945	-0,126
9	22,9295	23,050	-0,120
10	22,1365	22,257	-0,120
11	21,0851	21,208	-0,123
A	21,4889	21,609	-0,120
ACOCHE	18,5839	18,701	-0,117
AMOTO	18,7327	18,858	-0,125
C	21,4614	21,600	-0,139
D	21,2654	21,398	-0,133
E	20,8562	21,014	-0,158
F	20,6486	20,816	-0,167
G	19,8088	19,929	-0,120
GMU	18,6573	18,791	-0,134
H	19,8700	19,991	-0,121
I	19,8556	19,974	-0,118
J	20,5558	20,681	-0,125
K	20,8177	20,933	-0,115
L	20,9533	21,072	-0,119
M	19,1761	19,287	-0,111
N	19,2327	19,350	-0,117
NP	19,2300	19,341	-0,111
O	19,2227	19,350	-0,127
P	19,2421	19,364	-0,122
Q	19,2888	19,401	-0,112
R	19,3033	19,412	-0,109
ROT	18,6076	18,726	-0,118
S	19,8517	19,970	-0,118
T	23,7357	23,847	-0,111
V	24,0096	24,133	-0,123
W	24,3396	24,448	-0,108
MEDIA	---	---	-0,124



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

A simple vista se puede apreciar que las diferencias entre ambos métodos son mayores que en GPS PSP, ya que este método es menos preciso aunque, eso sí, el de Tiempo Real es un método menos laborioso y por tanto más rápido de realizar. Los datos mostrados en la tabla anterior son datos en los que aún no se ha llegado a eliminar el desfase que existe debido al Modelo de Ondulación del Geoide, que como ya se ha comentado es de 8,10 cm. Dicho esto, se muestra a continuación la Tabla 18 con los datos ya depurados en este aspecto.



4. Resultados y discusión

Tabla 18. Comparativa datos Nivel Electrónico y GNSS-RTK (teniendo en cuenta Modelo de Ondulación del Geoide)

PUNTO	COTA		
	NIVEL ELECTRÓNICO	GPS RTK	Δ
1	17,5733	17,707	-0,053
2	16,7627	16,892	-0,048
3	17,0896	17,219	-0,048
4	17,1232	17,254	-0,050
5	16,8363	16,972	-0,055
6	16,2757	16,404	-0,047
7	17,7339	17,855	-0,040
8	20,8192	20,945	-0,045
9	22,9295	23,050	-0,039
10	22,1365	22,257	-0,039
11	21,0851	21,208	-0,042
A	21,4889	21,609	-0,039
ACOCHE	18,5839	18,701	-0,036
AMOTO	18,7327	18,858	-0,044
C	21,4614	21,600	-0,058
D	21,2654	21,398	-0,052
E	20,8562	21,014	-0,077
F	20,6486	20,816	-0,086
G	19,8088	19,929	-0,039
GMU	18,6573	18,791	-0,053
H	19,8700	19,991	-0,040
I	19,8556	19,974	-0,037
J	20,5558	20,681	-0,044
K	20,8177	20,933	-0,034
L	20,9533	21,072	-0,038
M	19,1761	19,287	-0,030
N	19,2327	19,350	-0,036
NP	19,2300	19,341	-0,030
O	19,2227	19,350	-0,046
P	19,2421	19,364	-0,041
Q	19,2888	19,401	-0,031
R	19,3033	19,412	-0,028
ROT	18,6076	18,726	-0,037
S	19,8517	19,970	-0,037
T	23,7357	23,847	-0,030
V	24,0096	24,133	-0,042
W	24,3396	24,448	-0,027
MEDIA	---	---	-0,043



Observando los datos de la Tabla 18 se puede apreciar que los valores están ya mucho más cercanos a los obtenidos por nivelación, la mayoría de ellos por debajo de los 5 cm. A continuación se procede a valorar dichos datos:

- Diferencia media: $0,043 \text{ m} = 4,3 \text{ cm}$
- Diferencia máxima: $0,086 \text{ m} = 8,6 \text{ cm}$
- 2º Diferencia máxima: $0,077 \text{ m} = 7,7 \text{ cm}$

La gran variación apreciada en dos de los puntos de estudio con respecto a la media (en torno al doble de la media) tiene una explicación lógica ya que estos son los puntos E y F, que se encuentran bajo un árbol de gran porte y frondosidad lo que afecta negativamente a la recepción de las señales GPS debido al conocido como efecto MULTIPATH, devolviendo unos valores de coordenadas menos precisos que si se encontrase a cielo abierto sin ningún obstáculo que afecte a su posicionamiento.

A la luz de los resultados obtenidos, en condiciones normales se puede estimar que en altimetría, el error que se puede llegar a cometer con GPS en RTK, comparándolo con Nivelación Electrónica, tomada como de referencia debido a su fiabilidad, se encuentra con valores inferiores a los 5 cm, solo rebasándolos en ocasiones en las que algún factor pueda afectar como ha sido en este caso con los Puntos E y F.



4.6 Comparativa de datos Estación Total y GPS

Para la realización de esta comparativa, se ha trabajado con coordenadas relativas, que posteriormente pueden ser transformadas a absolutas nuevamente.

Para ello, se ha trabajado con el programa AutoCAD, con las herramientas creadas por Pérez Romero, A. M., TAO (Topografía Asistida por Ordenador). Los pasos seguidos para realizar esta comparativa son los siguientes:

- Ejecutar programa AutoCAD.
- Activar llave TAO.
- Importar Puntos 2D extraídos del GPS.
- Eliminar proyección UTM.
- Valor Ondulación del Geoide: 49,333 m.
- Importar Puntos 2D extraídos de la Estación Total.
- Convertir puntos Estación Total de Importados a Replanteo.
- Cambiar Sistema de Coordenadas de los puntos de Estación Total.
- Ejecutar comando “DIST” para comprobar la distancia existente entre el punto obtenido con Estación Total y el de GPS.
- Llevar estas distancias a una tabla Excel que a continuación se muestran para comprobar dichos desfases (Tabla 19 y Tabla 20).



4.6.1 Comparativa de datos Estación Total y GPS en Postproceso (PSP)

Tabla 19. Comparativa datos Estación Total con GPS-PSP

PUNTO	ONDULACIÓN DEL GEOIDE	ESTACIÓN TOTAL - PSP				
		ΔX	ΔY	ΔDH (Dist. Hor)	ΔZ	$\Delta 3D$
1	49,345	0,0004	0,0009	0,0010	0,0027	0,0029
2	49,345	0,0113	0,0151	0,0189	0,0063	0,0199
3	49,342	0,0048	0,0001	0,0048	0,0136	0,0144
4	49,339	0,0057	0,0035	0,0067	0,0132	0,0148
5	49,338	0,0034	0,0037	0,0050	0,0033	0,0060
6	49,339	0,0009	0,0007	0,0011	0,0043	0,0045
7	49,335	0,0059	0,0028	0,0065	0,0029	0,0071
8	49,326	0,0046	0,0029	0,0054	0,0052	0,0075
9	49,319	0,0002	0,0128	0,0128	0,0055	0,0139
10	49,316	0,0039	0,0071	0,0081	0,0115	0,0141
11	49,316	0,0016	0,0014	0,0021	0,0101	0,0104
A	49,338	0,007	0,0168	0,0182	0,0151	0,0236
ACOCHE	49,339	0,0008	0,0030	0,0031	0,0149	0,0152
AMOTO	49,337	0,0029	0,0008	0,0030	0,0207	0,0209
B	49,335	0,0061	0,0133	0,0146	0,0029	0,0149
C	49,335	0,0107	0,0071	0,0128	0,0074	0,0148
D	49,335	0,0072	0,0061	0,0094	0,0064	0,0114
E	49,337	0,0027	0,0128	0,0131	0,0002	0,0131
F	49,338	0,0244	0,0019	0,0245	0,0254	0,0353
G	49,340	0,0046	0,0038	0,0060	0,0028	0,0066
GMU	49,340	0,0048	0,0031	0,0057	0,0023	0,0062
H	49,341	0,0046	0,0042	0,0062	0,0030	0,0069
I	49,342	0,0073	0,0089	0,0115	0,0056	0,0128
J	49,341	0,0046	0,0046	0,0065	0,0048	0,0081
K	49,340	0,0017	0,0041	0,0044	0,0027	0,0052
L	49,339	0,006	0,0072	0,0094	0,0013	0,0095
M	49,327	0,0079	0,0079	0,0112	0,0019	0,0113
N	49,326	0,0046	0,0044	0,0064	0,0147	0,0160
NP	49,326	0,0037	0,0031	0,0048	0,0210	0,0216
O	49,326	---	---	---	0,0037	---
P	49,326	0,006	0,0024	0,0065	0,0021	0,0068
Q	49,323	0,0001	0,0016	0,0016	0,0018	0,0024
R	49,321	0,0028	0,0113	0,0116	0,0053	0,0128
ROT	49,332	0,0000	0,0000	0,0000	0,0024	0,0024
S	49,319	0,0037	0,0064	0,0074	0,0097	0,0122
T	49,324	0,0079	0,012	0,0144	0,0027	0,0146
V	49,325	0,0092	0,0127	0,0157	0,0016	0,0158
W	49,329	0,0132	0,0114	0,0174	0,0036	0,0178
Media	49,333	0,0053	0,0061	0,0087	0,0072	0,0124



4. Resultados y discusión

Como ya se ha comentado en otros apartados en los que se comparan los datos de GPS, el Punto F, es el que se desmarca de los demás en cuanto a que la variación es bastante mayor que la media, ya que en cota, distancia y en 3D, está en torno al triple del valor medio.

De estos datos se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Diferencia media ΔX : 0,0053 m = 0,53 cm
- Diferencia media ΔY : 0,0061 m = 0,61 cm
- Diferencia media ΔDH (Distancia horizontal): 0,0087 m = 0,87 cm
- Diferencia media ΔZ : 0,0072 m = 0,72 cm
- Diferencia media $\Delta 3D$: 0,0124 m = 1,24 cm



4.6.2 Comparativa de datos Estación Total y GNSS en Tiempo Real (RTK)

Tabla 20. Comparativa datos Estación Total con GNSS-RTK

PUNTO	ONDULACIÓN DEL GEOIDE	ESTACIÓN TOTAL - RTK				
		ΔX	ΔY	ΔDH (Dist. Hor)	ΔZ	$\Delta 3D$
1	49,345	0,0054	0,0033	0,0063	0,0527	0,0531
2	49,345	0,0136	0,0173	0,0220	0,0483	0,0531
3	49,342	0,0136	0,0034	0,0140	0,0484	0,0504
4	49,339	0,0142	0,0089	0,0168	0,0498	0,0526
5	49,338	0,011	0,0183	0,0214	0,0547	0,0587
6	49,339	0,0135	0,0102	0,0169	0,0473	0,0503
7	49,335	0,0116	0,0035	0,0121	0,0401	0,0419
8	49,326	0,0061	0,0094	0,0112	0,0448	0,0462
9	49,319	0,0072	0,0101	0,0124	0,0395	0,0414
10	49,316	0,0021	0,0084	0,0087	0,0395	0,0404
11	49,316	0,0054	0,0106	0,0119	0,0419	0,0435
A	49,338	0,0077	0,0088	0,0117	0,0391	0,0408
ACOCHE	49,339	0,0066	0,0082	0,0105	0,0361	0,0376
AMOTO	49,337	0,003	0,004	0,0050	0,0443	0,0446
B	49,335	---	---	---	21,6099	---
C	49,335	0,0022	0,0066	0,0070	0,0576	0,0580
D	49,335	0,0008	0,0068	0,0068	0,0516	0,0521
E	49,337	0,01	0,003	0,0104	0,0768	0,0775
F	49,338	0,039	0,0544	0,0669	0,0864	0,1093
G	49,340	0,006	0,0142	0,0154	0,0392	0,0421
GMU	49,340	0,0194	0,0083	0,0211	0,0527	0,0568
H	49,341	0,0085	0,0053	0,0100	0,0400	0,0412
I	49,342	0,016	0	0,0160	0,0374	0,0407
J	49,341	0,0073	0,0025	0,0077	0,0442	0,0449
K	49,340	0,0074	0,0077	0,0107	0,0343	0,0359
L	49,339	0,01	0,01	0,0141	0,0377	0,0403
M	49,327	0,0038	0,007	0,0080	0,0299	0,0309
N	49,326	0,0016	0,0064	0,0066	0,0363	0,0369
NP	49,326	0,0092	0,0045	0,0102	0,0300	0,0317
O	49,326	---	---	---	0,0463	---
P	49,326	0,0057	0,0067	0,0088	0,0409	0,0418
Q	49,323	0,0028	0,0038	0,0047	0,0312	0,0316
R	49,321	0,0028	0,0114	0,0117	0,0277	0,0301
ROT	49,332	0	0	0,0000	0,0374	0,0374
S	49,319	0,0021	0,0137	0,0139	0,0373	0,0398
T	49,324	0,006	0,0161	0,0172	0,0303	0,0349
V	49,325	0,0126	0,0227	0,0260	0,0424	0,0497
W	49,329	0,0165	0,0195	0,0255	0,0274	0,0374
Media	49,333	0,0086	0,0099	0,0139	0,0432	0,0460



4. Resultados y discusión

Al igual que en el apartado anterior, se aprecia que el valor más distanciado de la media es el Punto F, seguido del E, debido a circunstancias ya comentadas.

De esta comparativa se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Diferencia media ΔX : 0,0086 m = 0,86 cm
- Diferencia media ΔY : 0,0099 m = 0,99 cm
- Diferencia media ΔDH (Distancia horizontal): 0,0139 m = 1,39 cm
- Diferencia media ΔZ : 0,0432 m = 4,32 cm
- Diferencia media $\Delta 3D$: 0,0460 m = 4,60 cm

Como resultado final, se muestra la Tabla 20, en la que se incluyen las coordenadas tridimensionales obtenidas mediante los métodos más precisos para la obtención de cada dato:

- Coordenadas UTM EPSG25830: GNSS PSP
- Cotas ortométricas: Nivel Electrónico



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

Tabla 21. Resumen de datos obtenidos

PUNTO	COORDENADAS ABSOLUTAS Y COTA ORTOMÉTRICA		
	X	Y	Z
1	239698,831	4138192,681	17,5733
2	239765,981	4138222,021	16,7627
3	239817,602	4138212,179	17,0896
4	239879,261	4138198,534	17,1232
5	239920,646	4138204,495	16,8363
6	239996,07	4138251,181	16,2757
7	240030,662	4138222,913	17,7339
8	240017,44	4138107,55	20,8192
9	239995,888	4138015,059	22,9295
10	239978,887	4137975,071	22,1365
11	239934,282	4137954,412	21,0851
A	239791,729	4138145,123	21,4889
ACOCHE	239678,155	4138111,808	18,5839
AMOTO	239699,233	4138092,204	18,7327
B	239786,964	4138110,773	21,5289
C	239782,736	4138107,343	21,4614
D	239771,449	4138110,04	21,2654
E	239743,197	4138116,15	20,8562
F	239730,578	4138119,098	20,6486
G	239698,965	4138127,518	19,8088
GMU	239689,165	4138125,464	18,6573
H	239698,069	4138140,444	19,8700
I	239705,761	4138163,246	19,8556
J	239721,132	4138152,308	20,5558
K	239734,578	4138143,387	20,8177
L	239747,387	4138145,003	20,9533
M	239744,962	4137995,035	19,1761
N	239749,398	4137994,067	19,2327
NP	239755,262	4137992,595	19,23
O	239759,89	4137991,55	19,2227
P	239758,328	4137992,74	19,2421
Q	239800,53	4137982,97	19,2888
R	239833,338	4137975,224	19,3033
ROT	239676,178	4138023,635	18,6076
S	239878,942	4137964,568	19,8517
T	239886,602	4138028,396	23,7357
V	239891,237	4138048,184	24,0096
W	239901,198	4138091,248	24,3396



5 Conclusiones



Después de haber realizado toda la toma de datos en campo y su posterior estudio para obtener los resultados expuestos en el apartado anterior se llega a las siguientes conclusiones:

- Método escogido para la obtención de cotas ortométricas (por orden de precisión):
 1. Nivel Electrónico
 2. Estación Total
 3. GNSS Postproceso (GNSS PSP)
 4. GNSS Tiempo Real (GNSS RTK)
- Variación media de cota con respecto al Nivel Electrónico:
 - Nivel Electrónico – Estación Total: 1 mm
 - Nivel Electrónico – GNSS PSP:
 - Sin tener en cuenta el Modelo de Ondulación del Geoide: 77 mm
 - Teniendo en cuenta el Modelo de Ondulación del Geoide: 4 mm
 - Nivel Electrónico – GNSS RTK:
 - Sin tener en cuenta el Modelo de Ondulación del Geoide: 124 mm
 - Teniendo en cuenta el Modelo de Ondulación del Geoide: 43 mm

De estos datos se deduce que el método más fiable y preciso para la obtención de cotas es la Nivelación Geométrica, pero también es el más lento y costoso, ya que requiere de al menos dos personas y más tiempo empleado para la obtención de la cota de cada punto. Así pues, la nivelación geométrica estará indicada para trabajos de ingeniería civil, en los que se requiere un nivel de precisión muy alto, como por ejemplo en trabajos relacionados con la conducción abierta de aguas, en la que las pendientes se encuentran entre 1-5 ‰, lo que implica que un error del orden de los milímetros resulta completamente inadmisibles, por poder cambiar el sentido de una pendiente.

Para la correcta realización de trabajos con Nivel Electrónico, se ha comprobado que la distancia entre los puntos a nivelar no debe sobrepasar los 50-60 metros como máximo, ya que a medida que se aumenta la misma, la precisión disminuye y los desniveles son menos precisos, aunque muchas de estas distancias vendrán impuestas por el desnivel existente entre los dos puntos a nivelar, ya que si el desnivel es grande, obligatoriamente la distancia entre miras se deberá reducir. También se ha visto, que la



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

incidencia del viento o el trasiego de vehículos por la zona a nivelar, genera vibraciones tanto en el nivel como en la mira provocando incertidumbres en la toma de los datos. Otro factor ambiental a tener en cuenta son las condiciones luminosas, que si son malas afectan de manera negativa a la precisión obtenida, tanto en la lectura óptica como en la electrónica.

Teniendo en cuenta estos pequeños detalles, se conseguirá mermar los errores y poder obtener un trabajo de precisión como es el requerido en este caso, en el que el error máximo permitido por la REDNAP es muy exigente.

Como segundo método más fiable para la obtención de cotas ortométricas, es el Levantamiento con Estación Total.

Dicho método se encuentra más equilibrado con respecto a tiempo utilizado, personal requerido y precisión final obtenida. En este caso, se ha trabajado mediante estacionamiento libre, en el que se disminuye el error debido a que no es necesario contar con la altura del instrumento en cada estacionamiento (igual que ocurre en la nivelación geométrica), por lo tanto no se acumula error. Las coordenadas obtenidas con este método son relativas, lo que puede llegar a ser un inconveniente en algunos tipos de trabajos, pero pueden transformarse en absolutas con un sencillo trabajo de gabinete.

Por último se cuenta con los métodos de obtención de coordenadas absolutas mediante GNSS, en Postproceso (PSP) y en Tiempo Real (RTK).

Estos métodos son más rápidos que cualquiera de los expuestos anteriormente, aunque la precisión alcanzada es menor, pero más que suficiente en diferentes trabajos como nivelación de terrenos agrícolas o levantamientos topográficos destinados al cálculo de movimiento de tierras, replanteo de caminos y balsas.

La precisión obtenida con estos dispositivos es más homogénea ya que el error cometido en cada punto es único y no se va acumulando a lo largo del itinerario, cosa que si ocurre al trabajar con Nivel Electrónico o Estación Total.

Para aumentar la precisión lograda con este tipo de aparatos, se aconseja trabajar de la siguiente manera:



5. Conclusiones

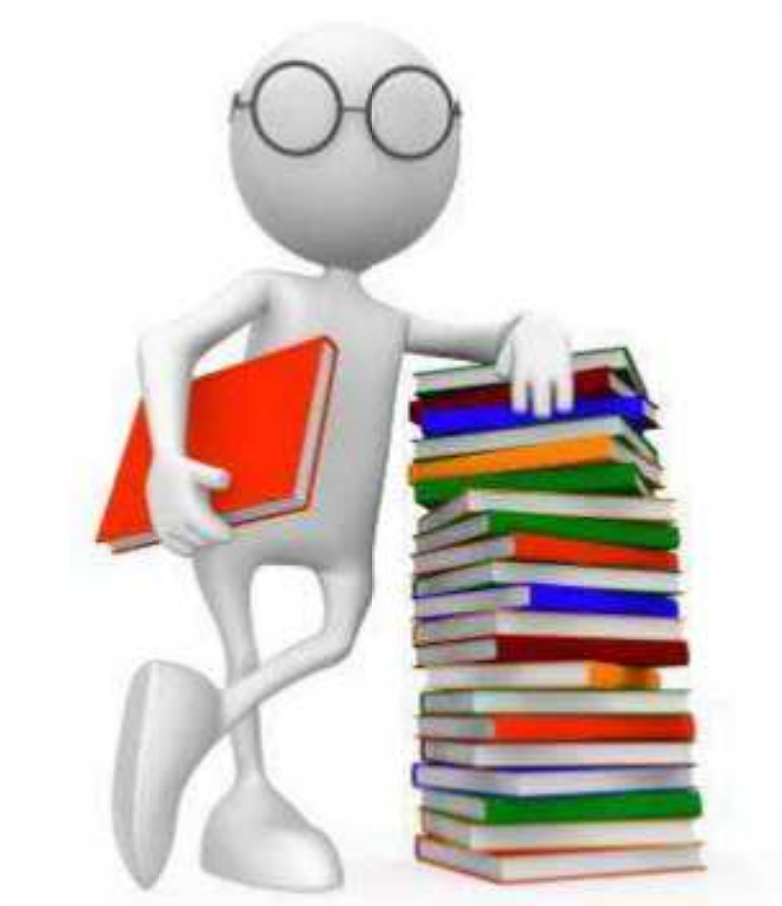
- GNSS PSP: para el cálculo de los tiempos de observación se ha empleado la regla de Hofmann-Wellenhof, en la que se estima un tiempo de observación de 10 min + 1 min por km, lo que garantiza la máxima precisión.
- GNSS RTK: toma de datos con 10 repeticiones en cada punto para poder realizar ajustes estadísticos.

Como coordenada final se cuenta con la media de cada punto, lo que permite mejorar la precisión alcanzada, aunque aumentando el tiempo empleado. Todo dependerá de la precisión requerida en cada trabajo.

Otras ventajas que ofrece el uso del GNSS es la posibilidad de trabajar en condiciones meteorológicas adversas (trabajos nocturnos, condiciones de baja visibilidad por niebla, polvo y lluvia) que dificultan e incluso impiden trabajar con los otros dispositivos y métodos estudiados (Nivel Electrónico y Estación Total). Otro aspecto, como ya se ha comentado, es el ahorro de tiempo tanto con el trabajo de campo, como el de gabinete, sin comprometer la precisión lograda.



6 Bibliografía



Bibliografía

- Canas Torres, J. (n.d.). *La cartografía como infraestructura de las infraestructuras*. pp.23-46.
- Farjas, M. (2012). *Nivelación Geométrica*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Fernández Coppel, I. (2001). *Localizaciones Geográficas. Las coordenadas geográficas y la proyección UTM*. Universidad de Valladolid.
- Fuentes de error GPS. Alsitel. *Informática y comunicaciones*.
<http://www.alsitel.com/tecnico>
- Galileo Information Centre for Latin America. <http://www.galileoic.org>
- Grupo Acre. <http://www.grupoacre.com>
- Hernández Gómez, M. (2015). *Comprobación de la precisión en la obtención de cotas ortométricas mediante técnicas de nivelación, GNSS y modelos de ondulación del geoide*. Licenciatura. Universidad de Sevilla.
- Hernández López, D. (n.d.). *Geodesia y cartografía matemática*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Instituto Geográfico Nacional - Ministerio de Fomento. <http://www.ign.es>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.inegi.org>
- Introducción al Nivel de topografía. (2012). *De Máquinas y Herramientas*.
<http://www.demaquinasyherramientas.com>
- Joglar Alcubilla, J. (2014). *Sistemas de comunicaciones y navegación aérea*. 1st ed. Lulu. Leica Geosystems. <http://www.leica-geosystems.es>
- Marín, D. (2014). Lanzamiento Soyuz-2-1B. *El blog de Daniel Marín*.
<http://danielmarin.naukas.com>
- Miler, M., & Šoštarić, M. (2012). *Fundamentos del Levantamiento Geodésico*.
- Noticias de la Ciencia y la Tecnología. (2016). *Lanzados tres satélites GLONASS*.
<http://noticiasdelaciencia.com>
- Ochoa Oballos, R. and Castillo Parada, J. (2014). *El Sistema de Posicionamiento Global ("Global Positioning System" - GPS)*. 1st ed. República Bolivariana de Venezuela.
- Ortiz, G. (2005). Conversión de datum con el modelo de 7 parámetros Bursa-Wolf. *Gabriel Ortiz - GIS. Sistemas de Información Geográfica*. <http://www.gabrielortiz.com>
- Ortiz, G. (2016). *GIS - SIG I Sistemas de información geográfica*.
<http://www.gabrielortiz.com>



Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática de la ETSIA de Sevilla

Peñafiel, J. and Zayas, J. (2001). *Fundamentos del sistema GPS y aplicaciones en la topografía*. Universidad de Castilla-La Mancha.

Pérez Romero, A. (2014). *Topografía y Geomática en la ETSIA de Sevilla*. <http://topoetsia.blogspot.com.es>

Portal Web del Control Geodésico y de Calidad de la Red Andaluza de Posicionamiento - LAGC - IECA. <http://rap.uca.es>

Principales fuentes de error en GPS. (2012). *De Topografía*. <http://detopografia.blogspot.com.es>

Relevancia del uso del datum. (2011). *Cartogeo*. <https://cartogeo.wordpress.com>

Sánchez Sobrino, J. A. (2010). *Curso de GPS en Geodesia y Cartografía*.

Sistema de navegación por posicionamiento. (2014). *Pasión por volar*. <https://www.pasionporvolar.com>

Snider, F. G. *GPS: Teoría, Práctica y Aplicaciones*.



Anexos



Anexo I: Planos



Anexo II: Reseñas de Puntos de Nivelación



RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:**Nombre del punto:** 1**Municipio:** Sevilla**Provincia:** Sevilla**Hoja MTN50:** 984**Nivelada:** 8 de Diciembre de 2015**➤ Coordenadas UTM ETRS89:****X:** 239698.831 m**Y:** 4138192.681 m**Z:** 17.5733 m**Huso:** 30**Cálculo:** 12 de Enero de 2016**➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:****Longitud:** -5° 56' 19.88381"**Latitud:** 37° 21' 14.27968"**K (factor de escala):** 1.00043441**W (ángulo de convergencia):** -1° 47' 3"**➤ Geoide EGM08-REDNAP:****N (ondulación del geoide):** 49.345**➤ Reseña:**

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo DESA cabeza con cruz sin arandela 40 mm. Se encuentra en la entrada principal por carretera hacia la Plaza de America de la UPO pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como 1.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la entrada hacia la plaza de la UPO cercano a una caja de registro de saneamiento y a la barrera de entrada a la misma.



RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: 2

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239765.981 m

Y: 4138222.021 m

Z: 16.7627 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 17.19489"

Latitud: 37° 21' 15.29829"

K (factor de escala): 1.00043398

W (ángulo de convergencia): -1° 47' 1"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.345

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo DESA cabeza con cruz sin arandela 40 mm. Se encuentra en la entrada hacia la Plaza de América de la UPO pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como 2.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera derecha que lleva a la plaza principal de la UPO a la altura de la fuente con piedras que se encuentra en el césped.



RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:**Nombre del punto:** 3**Municipio:** Sevilla**Provincia:** Sevilla**Hoja MTN50:** 984**Nivelada:** 8 de Diciembre de 2015**➤ Coordenadas UTM ETRS89:****X:** 239817.602 m**Y:** 4138212.179 m**Z:** 17.0896 m**Huso:** 30**Cálculo:** 12 de Enero de 2016**➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:****Longitud:** $-5^{\circ} 56' 15.08683''$ **Latitud:** $37^{\circ} 21' 15.03142''$ **K (factor de escala):** 1.00043365**W (ángulo de convergencia):** $-1^{\circ} 46' 60''$ **➤ Geoide EGM08-REDNAP:****N (ondulación del geoide):** 49.342**➤ Reseña:**

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo DESA cabeza con cruz sin arandela 40 mm. Dicho punto se encuentra en la Plaza de América de la UPO nombrado como 3.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la Plaza de América de la UPO cercano a la farola.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: 4

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239879.261 m

Y: 4138198.534 m

Z: 17.1232 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: $-5^{\circ} 56' 12.56648''$

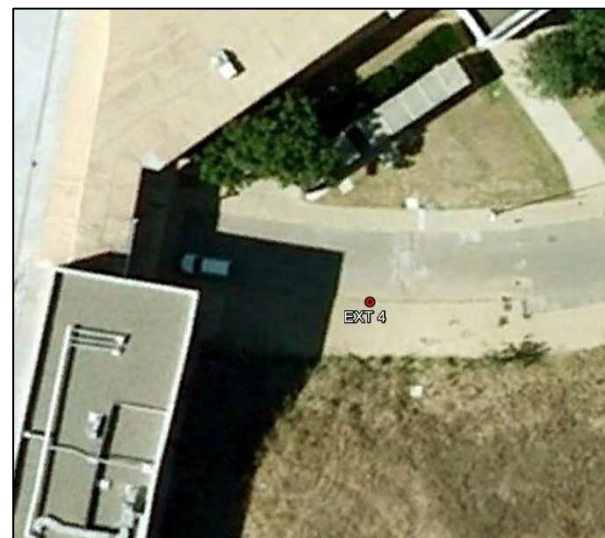
Latitud: $37^{\circ} 21' 14.65143''$

K (factor de escala): 1.00043326

W (ángulo de convergencia): $-1^{\circ} 46' 58''$

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.339



➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la salida de la Plaza de América hacia los aparcamientos pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como 4.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera derecha que nos lleva desde la plaza de América hasta el aparcamiento 9 a unos 20 m de la salida de la misma.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: 5

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239920.646 m

Y: 4138204.495 m

Z: 16.8363 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 10.89394"

Latitud: 37° 21' 14.88636"

K (factor de escala): 1.00043299

W (ángulo de convergencia): -1° 46' 57"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.338



➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo DESA cabeza con cruz sin arandela 40 mm. Se encuentra en la salida de la plaza de América hacia los aparcamientos pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como 5.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera derecha que nos lleva desde la Plaza de América hasta el aparcamiento 9. Dicho punto se encuentra enfrente de la entrada de estos aparcamientos y cercano a una caja de registros de la red de saneamientos.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: 6

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239996.070 m

Y: 4138251.181 m

Z: 16.2757 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: $-5^{\circ} 56' 7.89099''$

Latitud: $37^{\circ} 21' 16.47539''$

K (factor de escala): 1.00043251

W (ángulo de convergencia): $-1^{\circ} 46' 56''$

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.339

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo DESA cabeza con cruz sin arandela 40 mm. Se encuentra en la salida de la plaza de América hacia los aparcamientos pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como 6.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera derecha que nos lleva desde la Plaza de América hasta el aparcamiento. Dicho punto se encuentra enfrente de la señal que indica el aparcamiento 9 antes de llegar a la carretera principal que rodea el campus.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: 7

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 240030.662 m

Y: 4138222.913 m

Z: 17.7339 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 6.45098"

Latitud: 37° 21' 15.59417"

K (factor de escala): 1.00043229

W (ángulo de convergencia): -1° 46' 55"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.335

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm.. Se encuentra en la carretera que rodea el campus hacia los invernaderos de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como 7.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera que rodea el campus UPO a la izquierda de la entrada a los invernaderos de la ETSIA. Dicho punto se encuentra enfrente de la señal que nos indica el edificio 44.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: 8

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

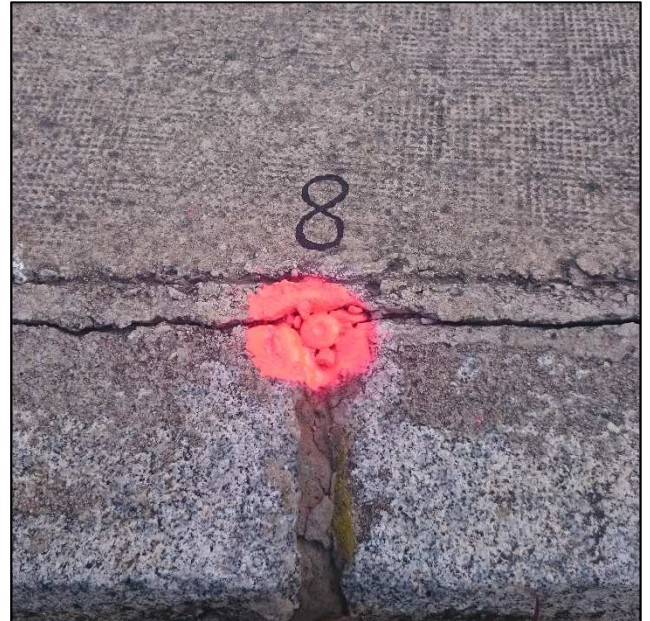
X: 240017.440 m

Y: 4138107.550 m

Z: 20.8192 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 6.84204"

Latitud: 37° 21' 11.84224"

K (factor de escala): 1.00043237

W (ángulo de convergencia): -1° 46' 55"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.326

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la carretera que rodea el campus hacia los invernaderos de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como 8.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera que rodea el campus UPO a las espaldas del pabellón polideportivo a unos 120 m del anterior punto 7.



RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: 9

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

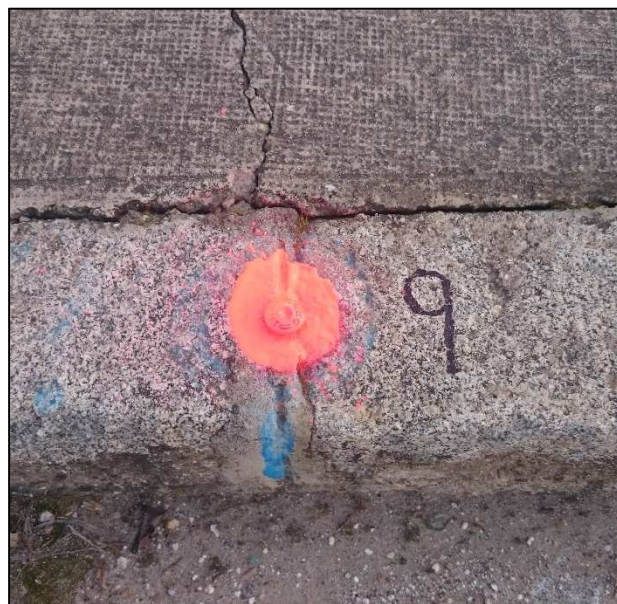
X: 239995.880 m

Y: 4138015.059 m

Z: 22.9295 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: $-5^{\circ} 56' 7.60014''$

Latitud: $37^{\circ} 21' 8.82312''$

K (factor de escala): 1.00043251

W (ángulo de convergencia): $-1^{\circ} 46' 55''$

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.319

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la carretera que rodea el campus hacia los invernaderos de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como 9.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera que rodea el campus UPO hacia los invernaderos de la ETSIA antes de comenzar la curva, enfrente de la piscina que allí se encuentra. Al lado de este punto, se encuentra una rejilla de la red de saneamientos.



RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: 10

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239978.887 m

Y: 4137975.071 m

Z: 22.1365 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: $-5^{\circ} 56' 8.23980''$

Latitud: $37^{\circ} 21' 7.51008''$

K (factor de escala): 1.00043262

W (ángulo de convergencia): $-1^{\circ} 46' 55''$

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.316

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la carretera que rodea el campus hacia los invernaderos de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como 10.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera que rodea el campus UPO hacia los invernaderos de la ETSIA sobre la mitad de la curva, a unos 40 m del anterior punto 9.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: 11

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239934.282 m

Y: 4137954.412 m

Z: 21.0851 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: $-5^{\circ} 56' 10.02444''$

Latitud: $37^{\circ} 21' 6.79560''$

K (factor de escala): 1.00043290

W (ángulo de convergencia): $-1^{\circ} 46' 56''$

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.316

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo DESA cabeza con cruz sin arandel. 40 mm. Se encuentra en la carretera que rodea el campus hacia los invernaderos de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como 11.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera que rodea el campus UPO hacia los invernaderos de la ETSIA casi al final de la curva, a unos 50 m del anterior punto 10 y a unos 10 m de la entrada al campo de frutales.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: A

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239791.729

Y: 4138145.123

Z: 21.4889 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 16.05241"

Latitud: 37° 21' 12.83222"

K (factor de escala): 1.00043382

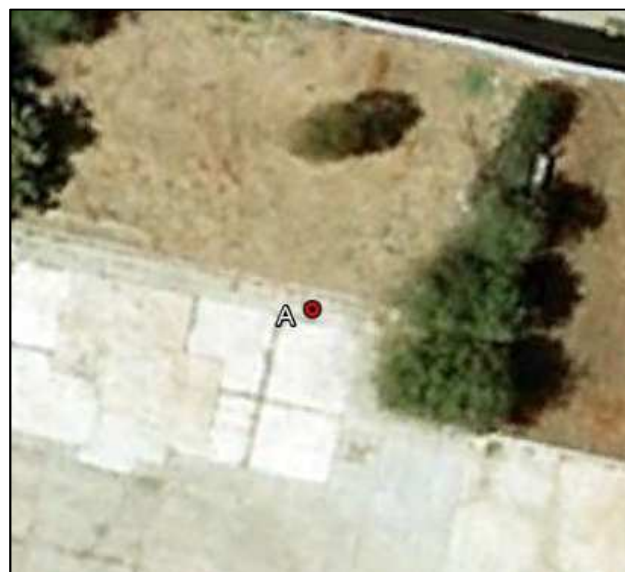
W (ángulo de convergencia): -1° 47' 0"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.338

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la Plaza Pablo de Olavide pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como A.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en el filo del bordillo de la parte derecha de la plaza en la zona mas cercana a la biblioteca de la ETSIA.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACION

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: AC (APARCAMIENTO COCHE)

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Enero de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239678.155 m

Y: 4138111.808 m

Z: 18.5839 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 20.62090"

Latitud: 37° 21' 11.63794"

K (factor de escala): 1.00043455

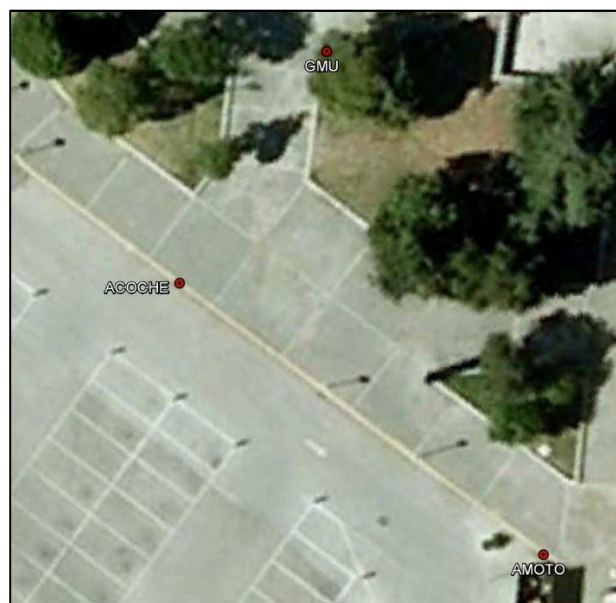
W (ángulo de convergencia): -1° 47' 3"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.339

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo DESA cabeza con cruz sin arandela 40 mm. Se encuentra en la entrada principal de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como AC.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en el bordillo que nos lleva a la entrada principal de la ETSIA desde la rotonda de entrada unos 30 m antes del anterior punto AM.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: AM (APARCAMIENTO MOTO)

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239699.233 m

Y: 4138092.204 m

Z: 18.7327 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016

➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 19.74044"

Latitud: 37° 21' 11.02391"

K (factor de escala): 1.00043441

W (ángulo de convergencia): -1° 47' 3"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

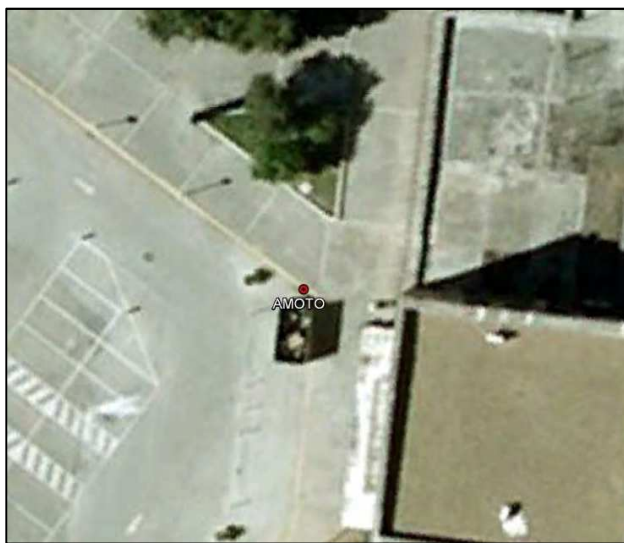
N (ondulación del geoide): 49.337

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo DESA cabeza con cruz sin arandela 40 mm. Se encuentra en la entrada principal de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como AM.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la esquina del bordillo en la entrada principal de la ETSIA delante del aparcamiento de motos.



RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: B

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Enero de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239786.964 m

Y: 4138110.773 m

Z: 21.5289 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero 2016

➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 16.20243"

Latitud: 37° 21' 11.71422"

K (factor de escala): 1.00043385

W (ángulo de convergencia): -1° 47' 0"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.335

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la Plaza Pablo de Olavide pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como B.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra al final del bordillo de la parte izquierda de la plaza en la zona mas cercana a la biblioteca de la ETSIA.



RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: C

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239782.736 m

Y: 4138107.343 m

Z: 21.4614 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 16.36974"

Latitud: 37° 21' 11.59880"

K (factor de escala): 1.00043388

W (ángulo de convergencia): -1° 47' 1"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.335

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la Plaza Pablo de Olavide pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como C.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra al final del bordillo de la parte izquierda de la plaza en la zona mas cercana a la biblioteca de la ETSIA.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: D

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239771.449 m

Y: 4138110.040 m

Z: 21.2654 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016

➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: $-5^{\circ} 56' 16.83135''$

Latitud: $37^{\circ} 21' 11.67481''$

K (factor de escala): 1.00043395

W (ángulo de convergencia): $-1^{\circ} 47' 1''$

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

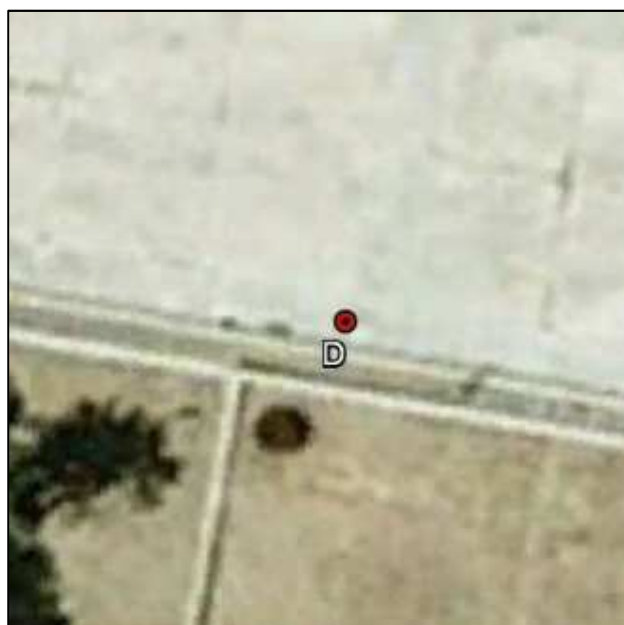
N (ondulación del geoide): 49.335

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la Plaza Pablo de Olavide pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como D.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra a mitad del bordillo de la parte izquierda de la plaza de la ETSIA cercano a una planta de agave.



RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACION

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: E

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239743.197 m

Y: 4138116.150 m

Z: 20.8562 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 17.98598"

Latitud: 37° 21' 11.84431"

K (factor de escala): 1.00043413

W (ángulo de convergencia): -1° 47' 2"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.337

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la Plaza Pablo de Olavide pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como E.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra al principio del bordillo de la parte izquierda de la plaza en la zona donde se encuentra el árbol morera.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: F

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Enero de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239730.578 m

Y: 4138119.098 m

Z: 20.6486 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 18.50198"

Latitud: 37° 21' 11.92711"

K (factor de escala): 1.00043421

W (ángulo de convergencia): -1° 47' 2"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.338

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la Plaza Pablo de Olavide pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como F.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la esquina del bordillo derecho que hay al bajar las escaleras que van desde la primera planta de la ETSIA a la plaza.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: G

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Enero de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239698.965 m

Y: 4138127.518 m

Z: 19.8088 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 19.79597"

Latitud: 37° 21' 12.16807"

K (factor de escala): 1.00043441

W (ángulo de convergencia): -1° 47' 3"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.340

➤ Reseña:

Este punto no se encuentra materializado con ningún clavo en suelo, si no que es un pequeño agujero realizado con un taladro en el suelo en la Plaza Pablo de Olavide y señalizado con pintura rosa y nombrado como G.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en el lado derecho del último escalón de la plaza de la ETSIA cercano a la papelería que allí se encuentra.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: GMU

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Enero de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239689.165 m

Y: 4138125.464 m

Z: 18.6573 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016

➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 20.19121"

Latitud: 37° 21' 12.09161"

K (factor de escala): 1.00043447

W (ángulo de convergencia): -1° 47' 3"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.340

➤ Reseña:

Clavo de nivelación de acero de la Gerencia Municipal de Urbanismo (GMU) de Dos Hermanas. Se encuentra en la Plaza Pablo de Olavide pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como GMU.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra en el primer escalon en la parte derecha de la plaza de la ETSIA.



RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: H

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239698.069 m

Y: 4138140.444 m

Z: 19.8700 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: $-5^{\circ} 56' 19.84869''$

Latitud: $37^{\circ} 21' 12.58606''$

K (factor de escala): 1.00043442

W (ángulo de convergencia): $-1^{\circ} 47' 3''$

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.341



➤ Reseña:

Clavo de nivelación de bronce de la Gerencia Municipal de Urbanismo de Dos Hermanas. Se encuentra en la Plaza Pablo de Olavide pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como H.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra en el último escalón de subida a la plaza de la ETSIA en la zona más central del mismo.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: I

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

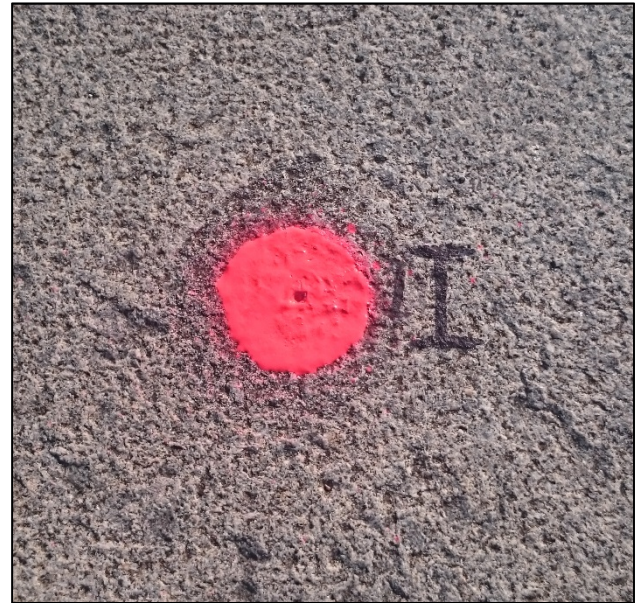
X: 239705.761 m

Y: 4138163.246 m

Z: 19.8556 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 19.56526"

Latitud: 37° 21' 13.33277"

K (factor de escala): 1.00043437

W (ángulo de convergencia): -1° 47' 3"

Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.342

➤ Reseña:

Este punto no se encuentra materializado con ningún clavo topográfico, sino que es un pequeño agujero realizado con un taladro en el suelo. Se encuentra en la Plaza Pablo de Olavide pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como I.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la parte izquierda del último escalón de subida a la plaza de la ETSIA.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: J

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS 89:

X: 239721.132 m

Y: 4138152.308 m

Z: 20.5558 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: $-5^{\circ} 56' 18.92744''$

Latitud: $37^{\circ} 21' 12.99382''$

K (factor de escala): 1.00043427

W (ángulo de convergencia): $-1^{\circ} 47' 2''$

Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.341

➤ Reseña:

Clavo topografico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la Plaza Pablo de Olavide pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como J.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra principio de la Plaza Pablo de Olavide en los primeros escalones en la parte izquierda.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:**Nombre del punto:** K**Municipio:** Sevilla**Provincia:** Sevilla**Hoja MTN50:** 984**Nivelada:** 8 de Diciembre de 2015**➤ Coordenadas UTM ETRS89:****X:** 239734.578 m**Y:** 4138143.387 m**Z:** 20.8177 m**Huso:** 30**Cálculo:** 12 de Enero de 2016**➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:****Longitud:** -5° 56' 18.37031"**Latitud:** 37° 21' 12.71828"**K (factor de escala):** 1.00043418**W (ángulo de convergencia):** -1° 47' 2"**Geoide EGM08-REDNAP:****N (ondulación del geoide):** 49.340**➤ Reseña:**

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo DESA cabeza con cruz sin arandela 40 mm. Se encuentra en la Plaza Pablo de Olavide pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como K.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la plaza de la ETSIA a unos 15 m del punto J en dirección hacia la biblioteca.



RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: L

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239747.387 m

Y: 4138145.003 m

Z: 20.9533 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 17.85236"

Latitud: 37° 21' 12.78358"

K (factor de escala): 1.0004341

W (ángulo de convergencia): -1° 47' 1"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.339

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la plaza de la ETSIA pintado con spray biodegradable color amarillo y nombrado como L.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la plaza de la ETSIA a unos 10 m del punto K en dirección hacia la biblioteca.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: M

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS 89:

X: 239744.962 m

Y: 4137995.035 m

Z: 19.1761 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 17.76121"

Latitud: 37° 21' 7.92109"

K (factor de escala): 1.00043412

W (ángulo de convergencia): -1° 47' 1"

Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.327

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la acera que rodea el campus UPO en la zona trasera de los aparcamientos de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como M.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera que rodea el campus UPO a unos 4 m a la derecha de la entrada a los invernaderos de la ETSIA.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: N

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239749.398 m

Y: 4137994.067 m

Z: 19.2327 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016

➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: $-5^{\circ} 56' 17.57991''$

Latitud: $37^{\circ} 21' 7.89419''$

K (factor de escala): 1.00043409

W (ángulo de convergencia): $-1^{\circ} 47' 1''$

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.326

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la acera que rodea el campus UPO en la zona trasera de los aparcamientos de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como N.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera que rodea el campus UPO a la derecha de la entrada a los invernaderos de la ETSIA



RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: N

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239749.398 m

Y: 4137994.067 m

Z: 19.2327 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016

➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: $-5^{\circ} 56' 17.57991''$

Latitud: $37^{\circ} 21' 7.89419''$

K (factor de escala): 1.00043409

W (ángulo de convergencia): $-1^{\circ} 47' 1''$

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.326

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la acera que rodea el campus UPO en la zona trasera de los aparcamientos de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como N.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera que rodea el campus UPO a la derecha de la entrada a los invernaderos de la ETSIA



RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: NP

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239755.262 m

Y: 4137992.595 m

Z: 19.2300 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016

➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: $-5^{\circ} 56' 17.34000''$

Latitud: $37^{\circ} 21' 7.85241''$

K (factor de escala): 1.00043405

W (ángulo de convergencia): $-1^{\circ} 47' 1''$

Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.326

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la acera que rodea el campus UPO en la zona trasera de los aparcamientos de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como NP.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera que rodea el campus UPO a la izquierda de la entrada a los invernaderos de la ETSIA



RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: O

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239759.890 m

Y: 4137991.550 m

Z: 19.2227 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 17.15080"

Latitud: 37° 21' 7.82321"

K (factor de escala): 1.00043402

W (ángulo de convergencia): -1° 47' 1"

Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.326



➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la acera que rodea el campus UPO en la zona trasera de los aparcamientos de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como O.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera que rodea el campus UPO a unos 4 m a la izquierda de la entrada a los invernaderos de la ETSIA

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: P

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239758.328 m

Y: 4137992.740 m

Z: 19.2421 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 17.21572"

Latitud: 37° 21' 7.86020"

K (factor de escala): 1.00043403

W (ángulo de convergencia): -1° 47' 1"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.326

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo DESA cabeza con cruz sin arandela 40 mm. Se encuentra en la acera que rodea el campus UPO en la zona trasera de los aparcamientos de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como P.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera que rodea el campus UPO a unos 2 m a la izquierda de la entrada a los invernaderos de la ETSIA

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: Q

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239800.530 m

Y: 4137982.970 m

Z: 19.2888 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 15.49018"

Latitud: 37° 21' 7.58617"

K (factor de escala): 1.00043376

W (ángulo de convergencia): -1° 46' 60"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.323

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la acera que rodea el campus UPO en la zona trasera de los aparcamientos de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como Q.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera que rodea el campus UPO cercano a la puerta secundaria de los invernaderos. Dicho punto está al lado de una caja de registros de la red de saneamiento.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: R

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239833.338 m

Y: 4137975.224 m

Z: 19.3033 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: $-5^{\circ} 56' 14.14855''$

Latitud: $37^{\circ} 21' 7.36824''$

K (factor de escala): 1.00043355

W (ángulo de convergencia): $-1^{\circ} 46' 59''$

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.321

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la acera que rodea el campus UPO pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como R.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera que rodea el campus UPO enfrente de la entrada por carretera hacia la biblioteca de la ETSIA o el pabellón de UPO.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: ROT (ROTONDA)

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239676.178 m

Y: 4138023.635 m

Z: 18.6076 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016

➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 20.58966"

Latitud: 37° 21' 8.77851"

K (factor de escala): 1.00043456

W (ángulo de convergencia): -1° 47' 3"

Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.332

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo DESA cabeza con cruz sin arandela 40 mm. Se encuentra en la salida del campus hacia el puente de Condequinto pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como ROT.

➤ Observaciones:

El punto se encuentra en el bordillo que rodea la rotonda que hay en la salida del campus hacia el puente que nos lleva a Condequinto. Cercano a este punto nos encontramos con una caja de registros de la red de saneamiento.



RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: S

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239878.942 m

Y: 4137964.568 m

Z: 19.8517 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: $-5^{\circ} 56' 12.28379''$

Latitud: $37^{\circ} 21' 7.06891''$

K (factor de escala): 1.00043326

W (ángulo de convergencia): $-1^{\circ} 46' 58''$

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.319

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la acera que rodea el campus UPO pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como S.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en la acera que rodea el campus UPO a la altura del ultimo invernadero.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: T

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

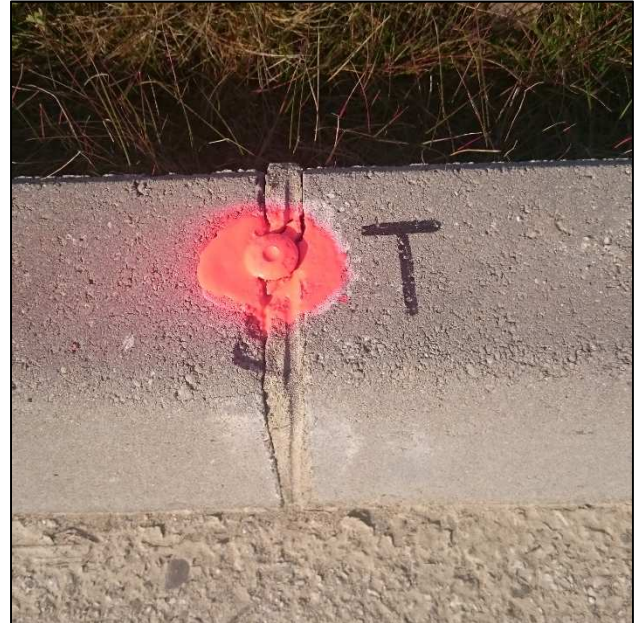
X: 239886.602 m

Y: 4138028.396 m

Z: 23.7357 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 12.05348"

Latitud: 37° 21' 9.14513"

K (factor de escala): 1.00043321

W (ángulo de convergencia): -1° 46' 58"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.324

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la carretera que nos lleva a la biblioteca de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como T.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en el bordillo izquierdo de la carretera que lleva a la biblioteca de la ETSIA y al pabellón de la UPO una vez pasadas las dos curvas que nos llevan hasta la zona más alta.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: V

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239891.237 m

Y: 4138048.184 m

Z: 24.0096 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -5° 56' 11.89033"

Latitud: 37° 21' 9.79108"

K (factor de escala): 1.00043318

W (ángulo de convergencia): -1° 46' 58"

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.325

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la carretera que nos lleva a la biblioteca de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como V.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en el bordillo izquierdo de la carretera que lleva a la biblioteca de la ETSIA y al pabellón de la UPO una vez pasadas las dos curvas que nos llevan hasta la zona más alta a unos 20 m del punto T.

RESEÑA DE PUNTO DE NIVELACIÓN

2 de Febrero de 2016

➤ Situación Geográfica:

Nombre del punto: W

Municipio: Sevilla

Provincia: Sevilla

Hoja MTN50: 984

Nivelada: 8 de Diciembre de 2015

➤ Coordenadas UTM ETRS89:

X: 239901.198 m

Y: 4138091.248 m

Z: 24.3396 m

Huso: 30

Cálculo: 12 de Enero de 2016



➤ Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: $-5^{\circ} 56' 11.54037''$

Latitud: $37^{\circ} 21' 11.19671''$

K (factor de escala): 1.00043312

W (ángulo de convergencia): $-1^{\circ} 46' 58''$

➤ Geoide EGM08-REDNAP:

N (ondulación del geoide): 49.329

➤ Reseña:

Clavo topográfico de la marca Leica, modelo Geopunt 75 mm. Se encuentra en la carretera que nos lleva a la biblioteca de la ETSIA pintado con spray biodegradable color rosa y nombrado como W.



➤ Observaciones:

El punto se encuentra en el bordillo izquierdo de la carretera que lleva a la biblioteca de la ETSIA y al pabellón de la UPO una vez pasadas las dos curvas que nos llevan hasta la zona más alta, enfrente de la entrada al pabellón.

Anexo III: Glosario de Términos



Almanaque

Información acerca de los satélites utilizada para calcular su posición en el espacio, elevación y acimut.

Altimetría

Determinación de las cotas de los diferentes puntos del terreno, con respecto al plano horizontal de comparación, el cual, aunque puede ser tomado a una altura arbitraria, en general se relaciona con el plano horizontal teórico formado por el nivel medio del mar (NMM).

Altitud

La coordenada que representa la altura de un punto sobre una superficie. Hay que tener muy claro sobre que superficie de referencia está medida esta altura.

Altura Elipsoidal (h)

Tiene como referencia la superficie del elipsoide. Se obtiene por técnicas de posicionamiento global, denominándose cotas elipsódicas.

Altura Ortométrica (H)

Tiene como superficie de referencia la superficie del geoide, es equivalente a la altitud sobre el nivel del mar. Se obtiene por técnicas de nivelación topográfica complementadas con observaciones gravimétricas, llamándose cota ortométrica.

Ambigüedad

Número de ciclos enteros desconocidos de la fase de la onda portadora que contiene un ininterrumpido grupo de mediciones provenientes de un único satélite pasando por un único receptor.

Ancho de banda

Medida del ancho del espectro de la señal expresada en Hz.

Ángulo de corte (Máscara de elevación)

Ángulo de elevación mínima debajo del cual los satélites GPS no son seguidos por el sensor.

Anti-Spoofing (AS)

Encriptación del código P. La forma de encriptarlo es sumando un código W secreto para convertirse en un código Y.

Apoyo Terrestre

Puntos de control cuya posición relativa es obtenida por mediciones directas o indirectas sobre el terreno, sus valores están referidos a un origen de ejes identificados como (X, Y, Z) conocidos también como ejes de coordenadas.

Azimut

Ángulo que forma una línea con la dirección Norte-Sur, medida de 0° a 360° en el sentido de las manecillas del reloj.

Azimut Geodésico

Ángulo determinado por la tangente a la línea geodésica en el punto de observación y el meridiano elipsoidal que pasa por el mismo, medido en el plano perpendicular a la normal del elipsoide del observador en el sentido de las manecillas del reloj a partir del norte.

Banda L

La banda de la frecuencia de radio se extiende desde 390 MHz a 1550 MHz. La frecuencia portadora de L1 y L2 es transmitida en esta banda.

Cadena

Conjunto de datos suficiente de la observación con GPS en sus diferentes modos para calcular las ambigüedades.

Cartografía

Conjunto de estudios y operaciones científicas y técnicas que intervienen en la formación o análisis de mapas, modelos en relieve o globos, que representan la Tierra, parte de ella o cualquier parte del Universo.

Clock Offset

Diferencia constante en el tiempo de lectura de dos relojes.

Código

Es un sistema utilizado para la comunicación en el cual cadenas de ceros y unos, arbitrariamente seleccionadas, son asignados para definir mensajes.

Código C/A O S (Course/Acquisition)

Código de modulación del GPS en la señal L1. Este Código tiene una frecuencia de 1023 MHz, de modulación binaria de la onda portadora GPS en un cambio de velocidad de 1023 MHz, teniendo así un código con un período de repetición de un milisegundo. Este código fue seleccionado para proporcionar buenas propiedades de rastreo.

Código P

Código preciso del GPS. Una secuencia muy larga de falsa aleatoriedad binaria de modulación bifase en la portadora GPS en una relación interrumpida de 1023 MHz. Cada segmento del Código P es único para cada satélite GPS. El acceso al Código P está restringido por el gobierno de los Estados Unidos que tiene su uso exclusivo.

Código Y

$P + W = Y$ (secreto)

Coordenadas Polares

Es un sistema de coordenadas para definir la posición de un punto en un espacio bidimensional consistente en un ángulo y una distancia, definido por un origen O y una línea semi-infinita L saliendo del origen. A L se le conoce también como eje polar.

Cota

Cifra que representa la altitud de un punto con respecto a la superficie del nivel de referencia.

Cota Elipsoidal

Cifra que representa la altitud de un punto con respecto al elipsoide de referencia.

Cota Ortométrica

Cifra que representa la altitud de un punto con respecto al geoide.

CTRS (Sistema De Referencia Terrestre Convencional)

Adoptado para el posicionamiento GPS.

Curvas De Nivel

Líneas que unen puntos de igual elevación en un terreno, referidas a un datum de nivel.

Datum

Modelo matemático que mejor se ajusta a una parte o la totalidad del geoide. Proporciona todos los parámetros de referencia para establecer los puntos de la superficie de la Tierra sobre el elipsoide.

Disponibilidad Selectiva (SA)

Mecanismo por el medio del cual Estados Unidos añade errores en las referencias enviadas por los satélites, con el fin de disminuir la precisión del sistema. Actualmente está desactivado.

Distanciómetro

Dispositivo electrónico para medición de distancia, funciona emitiendo un haz luminoso ya sea infrarrojo o laser, este rebota en un prisma o directamente sobre la superficie, y dependiendo del tiempo que tarda el haz en recorrer la distancia es como determina esta.

DOP (Dilución de la Precisión)

Esta imprecisión esta derivada de la geometría de los satélites respecto al receptor GPS. Dado que sus orbitas son conocidas (Almanaque), existen algoritmos para calcular las diferentes DOP, tanto en tiempo real como con antelación. El factor DOP indica la intensidad geométrica de la constelación del satélite en el tiempo de medición.

Efemérides

Información enviada por los satélites, dando la posición precisa de los mismos. Esta información si cambia frecuentemente, siendo actualizada por las estaciones de seguimiento de la Tierra. Los parámetros orbitales de los satélites se van actualizando a medida que su movimiento se ve alterado por la atracción del Sol y la Luna, la diferencia de gravedad entre distintas zonas de la corteza terrestre, viento solar, etc. Un periodo de cambio típico sería de 4 horas.

Elipsoide

Figura matemática, resultado de la revolución de una elipse sobre su eje menor. Se utiliza como sistema de referencia en levantamientos geodésicos del globo terrestre, ya que es la figura geométrica que más se parece a la tierra. (Elipsoide de dos ejes).

Épocas

Instante de tiempo fijado para el registro de datos en la unidad de control.

Error Multipath

Error de posicionamiento resultado de la interferencia entre ondas de radio que han viajado entre el transmisor y el receptor por dos caminos de longitud eléctrica diferente causada por la reflexión de las señales de los satélites en superficies u objetos próximos al receptor.

Escala Topográfica

Es la relación entre el valor en el plano y el real en el terreno. Por ejemplo, la escala 1:500, significa que 1 cm del plano equivale a 500 cm en la realidad

Estación Base

En posicionamiento GPS diferencial una estación base es aquella que siendo extremo de un vector se asume como de coordenadas conocidas. También suele llamarse “estación de referencia”.

Estación Semitotal

En este aparato se integra el teodolito óptico y el distanciómetro, se trabaja más rápido con este equipo, ya que se apunta al centro del prisma, a diferencia de un

teodolito con distanciómetro, en donde en algunos casos se apunta primero al teodolito y luego el distanciómetro, o se apunta debajo del prisma, actualmente resulta más caro comprar el teodolito y el distanciómetro por separado.

Estación Total

Instrumento de medición topográfica, de precisión que funciona de manera electrónica.

Excentricidad

Es la relación existente entre la distancia desde el centro de la elipse a sus focos y el semieje mayor.

Factor de Escala

Multiplicador utilizado principalmente en los sistemas de proyección conformes para convertir distancia del elipsoide en distancia sobre el plano y viceversa. También se hace uso de un factor de escala cuando se refiere a un punto expresado en un sistema a otro datum geodésico diferente, problema conocido como transformación de datum.

GDOP (Geometric Dilution of Precision)

Es un término utilizado en la navegación por satélite y geomática para especificar el efecto multiplicador adicional de la navegación por satélite en la precisión de la medida de posición. Constituida por cuatro componentes: tiempo, posición horizontal, posición vertical y posición tridimensional.

Geodesia

Ciencia que tiene como objeto la determinación de la forma y dimensiones de la figura de la Tierra, el posicionamiento de puntos sobre la superficie física terrestre y el estudio del campo de gravedad externo del planeta.

Geoide

Superficie equipotencial del campo gravitatorio terrestre (perpendicular a la dirección de la gravedad en todos sus puntos), que coincide con el nivel medio del mar (NMM) sin perturbaciones y que se extiende de manera continua por debajo de los continentes. Es una aproximación a la forma real de la Tierra, la cual es difícil de describir matemáticamente debido a las irregularidades de las superficies locales y las variaciones en el lecho marino.

Georreferenciar

Conocer la posición de un punto sobre la Tierra a partir de sus coordenadas.

GLONASS

Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), desarrollado por la Unión Soviética siendo administrado por la Federación Rusa y que representa la contrapartida al GPS estadounidense y al futuro Galileo Europeo. Consta de una constelación de 31 satélites (24 en activo, 3 de repuesto, 2 de mantenimiento, uno en servicio y uno en pruebas) situados en tres planos orbitales con 8 satélites cada uno siguiendo una órbita inclinada.

GNSS (Sistema Global De Navegación Por Satélite)

Constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire. Estos sistemas permiten determinar las coordenadas geográficas y la altitud de un punto dado como resultado de la recepción de señales procedentes de constelaciones de satélites artificiales de la Tierra para fines de navegación, transporte, geodésicos, hidrográficos, agrícolas y otras actividades afines. Las constelaciones GNSS más conocidas son NAVSTAR (GPS de Estados Unidos), GLONASS (Rusia) y la futura GALILEO (Agencia Espacial Europea).

GPRS (General Packet Radio Service O Servicio General de Paquetes Vía Radio)

Servicio de datos móvil orientados a paquetes, permitiendo una transferencia de datos hasta alcanzar 114 Kbit/s. Se apoya en el Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM). Permite servicio como la transferencia de mensajes cortos (SMS), mensajes multimedia (MMS) o conexión a Internet.

GPS (Sistema de Posicionamiento Global)

Red de satélites estadounidenses cuya tarea es proporcionar la infraestructura necesaria para permitir una localización precisa en el entorno planetario. La red está constituida por un mínimo de 24 satélites (y un máximo de 32) a 20200 km de altura, en seis planos orbitales. Su periodo de rotación es, por lo tanto, de 12 horas sidéreas exactas. El sistema está diseñado para que haya en todo momento entre 8 y 12 satélites visibles en cualquier punto de la Tierra, exceptuando latitudes muy elevadas (los polos terrestres). El dispositivo GPS recibe señales y las horas de cada uno de ellos. Con estos datos y mediante triangulación, calcula la posición en el mundo donde se encuentra.

GSR (Sistema de Referencia Geodésico)

Idea conceptual de un sistema de coordenadas cartesianas, considerando la Tierra como fija.

HDOP (Horizontal Dilution of Precision)

Imprecisión en el plano de superficie.

Hora Local

Hora de un lugar medida en tiempo solar verdadero.

Huso Horario

Porción de la superficie terrestre limitada por dos meridianos separados por 15 grados de longitud. La Tierra está dividida en 24 husos horarios.

Inclinación

Ángulo entre el plano orbital de un objeto y otro plano de referencia.

Ionosfera

Forma parte de una capa de la atmosfera llamada “termosfera”. Es una capa que se encuentra ionizada debido a la radiación ultravioleta y los rayos X del Sol. Como consecuencia de ellos, las moléculas presentes ahí (Oxígeno y Nitrógeno entre otros) se ionizan liberando electrones. Esta ionización afecta en gran medida las ondas electromagnéticas de los satélites ralentizando la señal y creando un error en las mediciones con GPS

ITRS (Sistema De Referencia Terrestre Internacional)

Realización particular del Sistema de Referencia Terrestre Convencional (CTRS).

Latitud

Es el ángulo que forma la vertical (que es perpendicular a la superficie terrestre en ese punto) del punto con el ecuador.

Latitud Geodésica

Ángulo formado por la normal al elipsoide en el punto de observación con el plano del ecuador elipsoidal. Se mide a partir de este último de 0° a 90° con un signo positivo en el hemisferio norte y negativo en el hemisferio sur.

Levantamiento Geodésico

Conjunto de procedimientos y operaciones de campo destinados a determinar las coordenadas geográficas y elevaciones sobre el nivel de referencia elegido de puntos convenientemente seleccionados y de marcados sobre el terreno.

Línea Base

Longitud tridimensional del vector entre un par de estaciones para que la información GPS, tomada simultáneamente, sea calculada y nos determine esta longitud.

Longitud

Es el ángulo formado por el meridiano que pasa el punto y un meridiano que se toma como origen. El meridiano que se toma como origen es el meridiano de Greenwich.

Longitud Geodésica

Ángulo comprendido entre el plano del meridiano geodésico del lugar y el plano de un meridiano de origen arbitrariamente elegido, de 0° a 360° en sentido positivo hacia el Este.

Mapa

Representación plana de la superficie terrestre o de parte de ella, que por su extensión y debido a la curvatura de la superficie de referencia del sistema adoptado, para dotar de coordenadas a los puntos del mapa. Se requiere hacer uso de transformaciones analizadas por la cartografía matemática.

Marco de Referencia

Materialización de un sistema de referencia a través de un conjunto de estaciones de control fijas, establecidas sobre la superficie terrestre por sus respectivas coordenadas y correspondientes variaciones en el tiempo.

Marco de Referencia Geodésico

Realización práctica de un sistema de referencia geodésico mediante observaciones y mediciones a partir de una configuración de estaciones permanentes localizadas en la superficie terrestre que conforman una red.

Marco de Referencia Terrestre (TRF)

Se caracteriza por la configuración de la red de estaciones y la calidad de las observaciones (función del tiempo). Los puntos del TRF están sobre la superficie terrestre se encuentran afectados por deformaciones que dan lugar a correcciones.

Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF)

Realización del ITRS a través de mediciones espaciales en localizaciones específicas alrededor del globo terrestre, por lo que está afectado tanto por la precisión de las coordenadas a priori de las estaciones como de los satélites y sus movimientos.

Marea

Es el cambio periódico del nivel del mar, producido principalmente por las fuerzas gravitacionales que ejercen la Luna y el Sol. Otros fenómenos pueden producir variaciones del nivel del mar. Uno de los más importantes es la variación de la presión atmosférica.

Medición de Fase

Medición del desfase de la onda portadora. La fase de la señal llegada del satélite es comparada con la fase de una señal de referencia generada en el receptor.

Medición de Pseudodistancia

Para obtener coordenadas de la antena solo es necesario hacer tres mediciones de este tipo a los satélites. La posición de la antena viene dada por la intersección de tres esferas, con la posición de los satélites como centro, y las distancias medidas como radios.

Mediciones Diferenciales

Mediciones simultáneas de dos receptores para determinar el vector de estas dos posiciones.

Mensaje de Datos

Un mensaje incluido en la señal GPS que incluye información sobre el estado de los satélites.

Misión

El método de trabajo utilizado en campo para realizar el levantamiento de puntos.

Multipath (Multitrayecto)

Es una de las causas de error sistemáticos más importantes. Se debe a la reflexión de las señales GPS en edificios, estructuras metálicas, etc. El multitrayecto introduce dos problemas: atenuación selectiva (si se reciben varias señales simultáneamente), e incremento de la distancia medida al satélite (ya que en vez de tomar la distancia real, se toma la distancia a través del multitrayecto). Uno de los problemas más graves del multitrayecto es que el error en la posición puede ser muy alto, y ello no se ve reflejado en el DOP. Afortunadamente el multitrayecto es muy sensible a la posición de los satélites (que cambia constantemente), de la antena y del entorno, porque sus efectos suelen ser claramente obvios cuando se comparan medidas.

Ondas Electromagnéticas

Son ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una partícula eléctrica. Su característica principal es que se pueden propagar por el vacío. Es una forma de transportar energía o información, sin necesidad de elementos físicos (cables, etc.).

Ondulación Del Geoide (N)

Distancia entre la superficie del elipsoide de referencia y el geoide, medida a lo largo de la normal al elipsoide.

PDOP (Position Dilution of Precision)

Se trata de la imprecisión tridimensional. Es inversamente proporcional al área del polígono delimitado por las intersecciones de las líneas de visión a los satélites con una esfera centrada en el observador. Por lo tanto, las peores posiciones son aquellas con los satélites muy cerca en el cielo, o situados en línea.

Pérdida de Ciclo

Es una discontinuidad en el número integrado de ciclos medidos en la fase portadora debido a la temporal pérdida de señal del satélite.

Planimetría

Estudia el conjunto de procedimientos que tienden a conseguir la representación a escala de todos los detalles interesantes del terreno sobre una superficie plana.

Plano

Representación plana de una parte de la superficie terrestre, lo suficientemente limitada como para que se pueda prescindir de la curvatura de la superficie de referencia del sistema de referencia adoptado, gracias a que las deformaciones que implica esta consideración son de magnitud inferior a la precisión métrica de la Cartografía.

Posicionamiento

Acción mediante el cual se determinan las coordenadas geográficas, producida por un receptor GPS en modo individual.

Posicionamiento Cinemático

Método que permite conocer las coordenadas de los puntos de la trayectoria de un receptor en movimiento.

Post-Proceso

Este sistema se llama así, ya que al obtener los datos en campo, después (post), realizamos la corrección de datos diferencial para poder obtener cotas ortométricas. (Cada marca de receptores tiene sus propios programas característicos, para corregir los datos obtenidos de la red). Permite optimizar los valores obtenidos y ganar precisión, se necesita otro equipo fijo para poder realizar la corrección, en España existen antenas distribuidas con estas características.

RAP (Red Andaluza De Posicionamiento)

Tiene como objetivo principal solucionar el problema del posicionamiento en Andalucía suministrando datos procedentes de observaciones de satélites del sistema GPS bien mediante técnicas de post-proceso o bien en tiempo real mediante técnicas diferenciales. La red RAP está constituida por 22 estaciones permanentes de

seguimiento de satélites GPS homogéneamente distribuidas en el territorio andaluz. Se ha diseñado y desarrollado para conformar el marco de referencia geodésico de Andalucía, proveer datos GPS para cálculo en post-proceso de coordenadas geodésicas referidas al sistema ETRS89 y suministrar correcciones diferenciales RTK y DGPS vía Internet para posicionamiento absoluto en tiempo real. Dependiendo de la metodología utilizada se obtendrán diferentes precisiones en los resultados. Las estaciones de la red RAP están dotadas de receptores GPS de última generación y, dependiendo de ciertos condicionantes, poseen unos complementos u otros. Mientras que todas las estaciones están dotadas de receptores LEICA GRX1200 Pro, únicamente las estaciones están ubicadas en las capitales de provincia y Algeciras, y poseen estación meteorológica Paroscientific MET3.

Red Geodésica

Conjunto de puntos denominados vértices, materializados físicamente sobre el terreno, de posición conocida tanto en términos absolutos como relativos ligados a un marco de referencia común. Es la estructura que sostiene a toda la cartografía de un territorio.

Reocupación

Técnica de medida GPS en la que cada estación se ocupa varias veces. Entre cada ocupación debe de haber más de una hora con el fin de cambiar la geometría de los satélites. Este método se utiliza cuando las condiciones mínimas requeridas no se cumplen debido a obstrucciones.

Replanteo

Técnica utilizada en topografía la cual consiste en reponer y situar puntos que un día existieron en el terreno y que posteriormente desaparecieron; así mismo, replanteo en el lenguaje usual de la construcción o de la obra, consiste en materializar de forma adecuada en el espacio, los puntos y ejes que definen la forma y dimensiones de una obra, a partir de unos planos y unos cálculos de proyecto, plasmando de forma real en el terreno aquello existente en un principio, tan solo de forma conceptual en un plano.

Retardo Atmosférico

Tiempo de retardo que afecta a la señal del satélite debido a las capas de la ionosfera y troposfera.

Retardo Ionosférico

Una onda de propagación a través de la ionosfera (capa de composición heterogénea) experimenta retraso. La fase de retraso depende del contenido de electrones y afecta a la señal de la portadora.

RINEX (Receiver Independent Exchange)

Formato de ficheros de texto orientado a almacenar, de manera estandarizada, medidas proporcionadas por receptores de sistemas de navegación por satélite, como GPS, GLONASS, EGNOS, WAAS o GALILEO.

RTK (Real Time Kinematic ó Navegación Cinética Satelital en Tiempo Real)

Técnica usada para la topografía y navegación marina basado en el uso de medidas de fase de navegadores con señales GPS, GLONASS y/o de GALILEO, donde una sola estación de referencia proporciona correcciones en tiempo real, obteniendo una exactitud submétrica. Cuando se refiere al uso particular de la red GPS, el sistema también es llamado comúnmente como DGPS (Corrección de portador de fase).

Rumbo (Bearing)

Término usado en navegación para describir el ángulo entre una dirección de referencia (Norte magnético, norte geográfico o norte de la cuadrícula) y una dirección determinada.

Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS)

Es el más alto nivel de precisión en el posicionamiento de un punto proporcionado por el Sistema GPS. Se consigue mediante receptores de doble frecuencia y código P.

Sesión

Es el conjunto de datos crudos colectados simultáneamente con dos o más receptores durante el curso de un proyecto GPS determinado.

SIG (Sistema De Información Geográfica)

Conjunto de mapas de la misma porción del territorio, donde un lugar concreto tiene la misma localización (las mismas coordenadas) en todos los mapas incluidos en el sistema de información. De este modo, resulta posible realizar análisis de sus características espaciales y temáticas para obtener un mejor conocimiento de la zona.

Superficie de la Tierra

Superficie real formada por los mares y océanos.

TDOP (Time Dilution of Precision)

Imprecisión en el tiempo.

Teodolito Electrónico

Es la versión del teodolito óptico, con la incorporación de electrónica para hacer las lecturas del círculo vertical y horizontal, desplegando los ángulos en una pantalla eliminando errores de apreciación, es más simple en su uso, y por requerir menos piezas es más simple su fabricación y en algunos casos su calibración.

Teodolito Óptico

Es la evolución del tránsito mecánico, en este caso, los círculos son de vidrio, y traen una serie de prismas para observar en un ocular adicional. La lectura del ángulo vertical y horizontal la precisión va desde 1 minuto hasta una décima de segundo.

Tiempo de Ocupación

Tiempo que necesita una estación para lograr el procesamiento de puntos o líneas base GPS. Este tiempo varía en función de la técnica de posicionamiento, el tipo de receptor utilizado, y la precisión requerida para los resultados finales.

Tiempo GPS

Sistema de tiempo uniforme basado en el tiempo universal coordinado (UTC) desde el 6 de Enero de 1980.

Tiempo Medio en Greenwich (GMT)

Hora solar media en el meridiano de Greenwich, utilizado como base del tiempo Standard en todo el mundo.

Topografía

Es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la Tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales.

Tránsito

Instrumento topográfico para medir ángulos verticales y horizontales, con una precisión de 1 minuto ($1'$) o 20 segundos ($20''$), los círculos de metal se leen con lupa, los modelos viejos tienen cuatro tornillos para nivelación, actualmente se siguen fabricando pero con solo tres tornillos nivelantes.

Traslación Doppler

Aparente cambio de frecuencia de una señal recibida debido a la variación de distancia entre emisor y receptor.

Troposfera

Es una capa que se extiende aproximadamente unos 10 km desde la superficie de la Tierra. Es ahí donde se producen los fenómenos meteorológicos.

TRS (Sistema de Referencia Terrestre)

Sistema de coordenadas cuasi-cartesiano definido por un origen dado, la orientación de sus ejes y una escala.

UTM (Proyección Universal Transverse Mercator)

Sistema de coordenadas rectangulares, planas, desarrollado por el Ejército de los Estados Unidos y es adoptado por la mayoría de los países del mundo. Consiste en 60 zonas, en la que cada una tiene 6° de amplitud en longitud.

VDOP (Vertical Dilution of Precision)

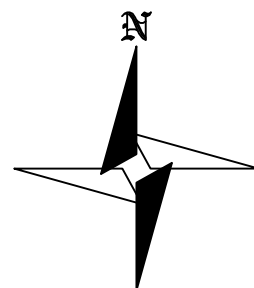
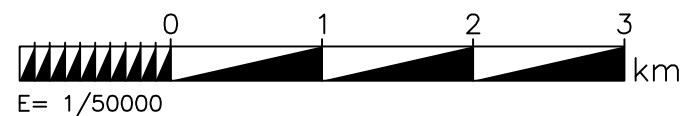
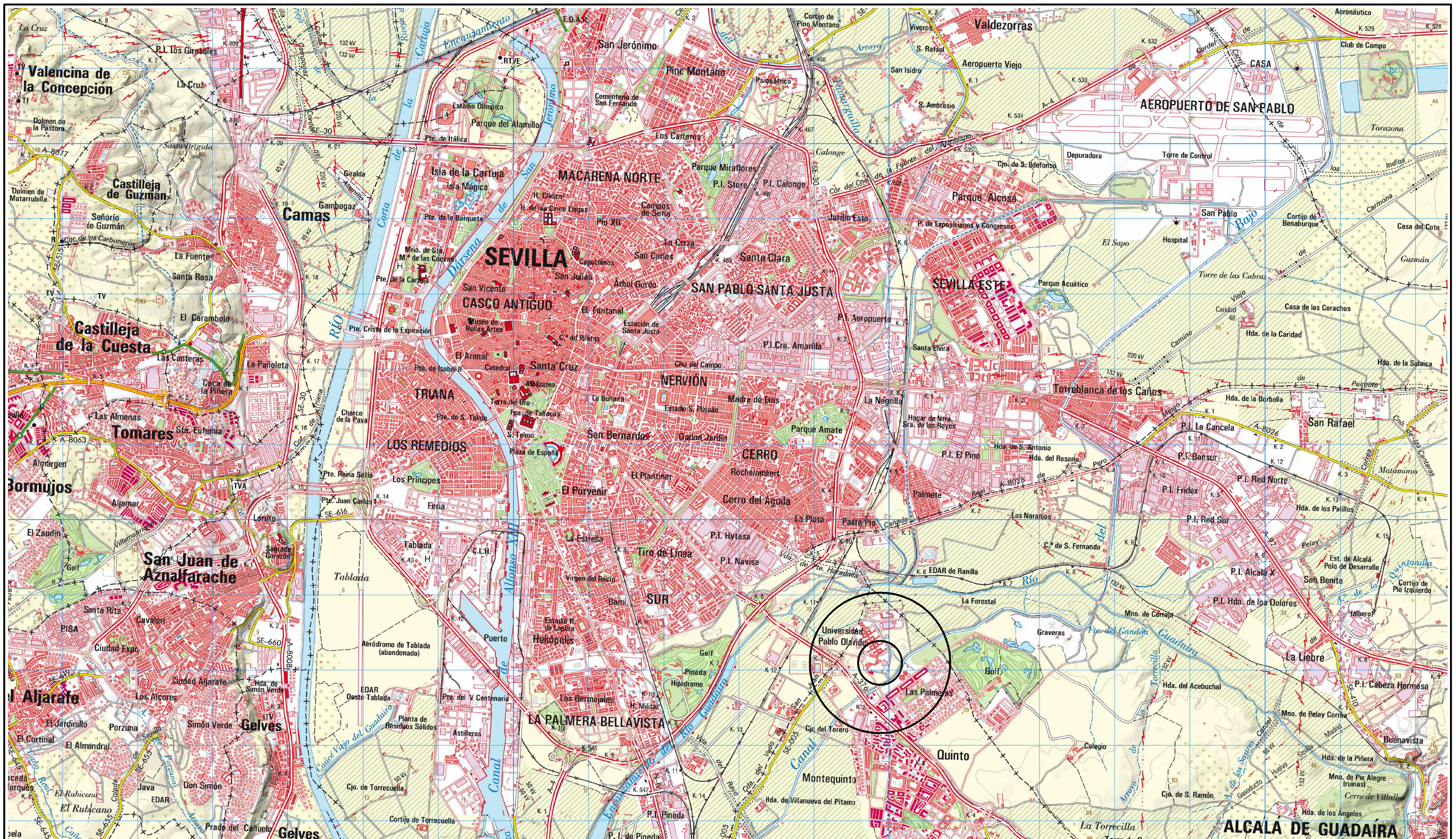
Imprecisión en la posición vertical.

Vértice Geodésico

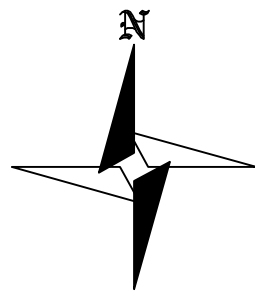
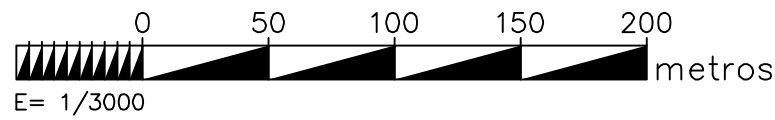
Punto señalado en campo que nos indica una posición geográfica exacta conformando una red de triangulación con otros vértices geodésicos. La posición exacta de estos vértices sirve para ayudar a elaborar mapas topográficos a escala, tanto nacionales como regionales.

Waypoint

Un waypoint es un par de coordenadas, latitud y longitud, o norte y este, con un nombre y número asignado, que representa un punto geográfico de interés.



Fecha: 05-09-2016		FIRMA :	PLANO DE SITUACION
Darío Cuadrado Naranjo			
E.T.S.I.A. Universidad de Sevilla			
Escala: 1:50000	Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática en la ETSIA de Sevilla		Nº PLANO: 1



Fecha: 05-09-2016		FIRMA :	PLANO DE EMPLAZAMIENTO
Darío Cuadrado Naranjo			
E.T.S.I.A. Universidad de Sevilla			
Escala: 1:3000	Establecimiento de una red de puntos de apoyo para la realización de prácticas en las asignaturas de Topografía y Geomática en la ETSIA de Sevilla		Nº PLANO: 2